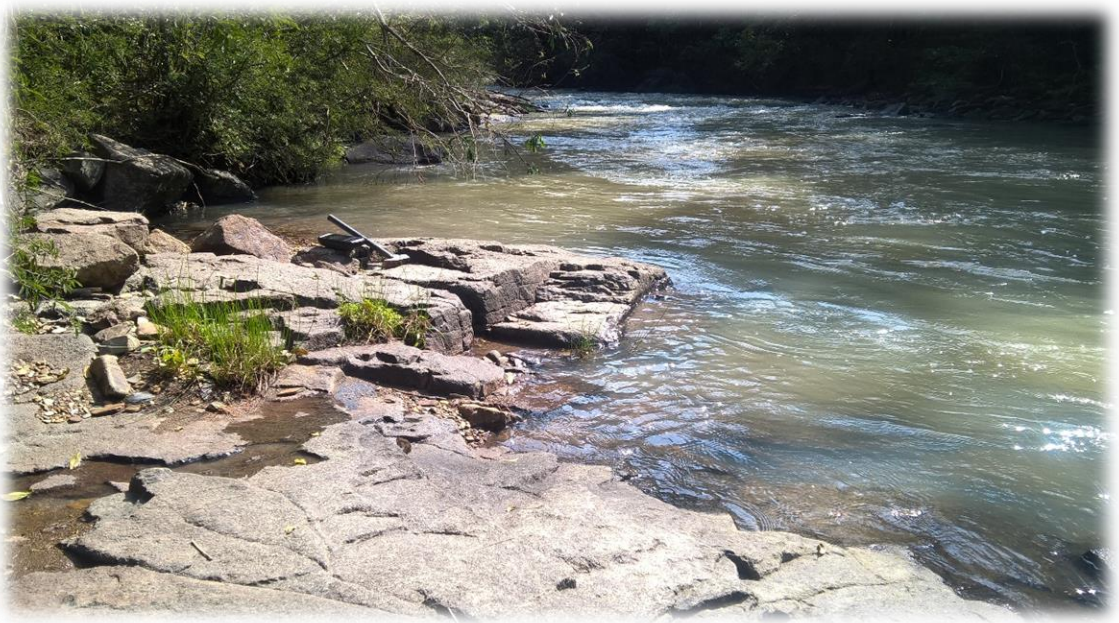




Engenharia & Construtora Ltda.

**CONTENÇÃO DE CHEIAS
FRANCISCO BELTRÃO**

Relatório Técnico



**PROJETO DO TÚNEL DE DESVIO DO RIO
MARRECAS – FRANCISCO BELTRÃO**

CLIENTE

DESIGN HEAD ENGENHARIA E CONSTRUTORA LTDA

ELABORAÇÃO

INGEO ESTUDOS GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS E AMBIENTAIS LTDA

DIRETORIA: PRODUÇÃO

SETOR: GEOTECNIA

EMPREENDIMENTO

TÚNEL DE DESVIO DO RIO MARRECA

LOCALIZAÇÃO

FRANCISCO BELTRÃO – PR

ESPECIFICAÇÃO DO PROCESSO

PROJETO EXECUTIVO DE TÚNEL

TÍTULO

PROJETO DO TÚNEL DE DESVIO DO RIO MARRECA – FRANCISCO BELTRÃO

CLASSIFICAÇÃO DO DOCUMENTO

RELATÓRIO TÉCNICO

NÚMERO DE PÁGINAS

56

CÓDIGO DO DOCUMENTO

07.01.1545.101.001.005.10-2018.00-3

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

ÁREA DO CONHECIMENTO

GEOLOGIA; GEOTECNIA; ENGENHARIA CIVIL

PALAVRAS CHAVE

TÚNEL DE DESVIO; RIO MARRECA, FRANCISCO BELTRÃO

RESPONSÁVEL TÉCNICO

Eduardo Gabriel de Pauli Baptista

Geólogo

ENTIDADE DE CLASSE

CREA-SC 094145-0

RN - 2507441593

Anotação de Responsabilidade Técnica – ART

CREA-SC_ART 6743263-0

OBSERVAÇÕES



*"O presente é a chave do passado,
o futuro é o resultado do presente"*

INGEO, 2018.

CRÉDITOS

CAPA: Luis Filho Lançoni

CONTRACAPA: Eduardo Gabriel de Pauli Baptista

CONCEPÇÃO E ORGANIZAÇÃO TÉCNICA: Eduardo Gabriel de Pauli Baptista

RESPONSÁVEL TÉCNICO: Eduardo Gabriel de Pauli Baptista CREA-SC 094.145-0

EQUIPE DE APOIO

Ana Cristina Dias de Oliveira Rodigheri Baptista

Bióloga

Bruna da Silva Casarin

Engenheira Bioenergética

Marcia Inês de Oliveria Berté

Engenheira Civil

GESTÃO DE PRODUÇÃO

| | | | |
|-------------|------|------|------------|
| ELABORAÇÃO | 00-0 | MIOB | 09/10/2018 |
| VERIFICAÇÃO | 00-0 | EGPB | 10/10/2018 |
| ELABORAÇÃO | 00-1 | MIOB | 15/10/2018 |
| VERIFICAÇÃO | 00-1 | EGPB | 15/10/2018 |
| ELABORAÇÃO | 00-2 | MIOB | 01/11/2018 |
| VERIFICAÇÃO | 00-2 | EGPB | 01/11/2018 |
| ELABORAÇÃO | 00-3 | MIOB | 08/11/2018 |
| VERIFICAÇÃO | 00-3 | EGPB | 08/11/2018 |
| APROVAÇÃO | 00-3 | XXX | XX/XX/2018 |

CONTRATANTE

DESIGN HEAD ENGENHARIA E CONSTRUTORA LTDA

CNPJ: 04.660.617/0001-94

Rua Tereza Nester, 293, Bairro Afonso Pena,

São José dos Pinhais - PR

CEP: 83.045-290

Telefone: (41) 3588-1120

CONTRATADA

INGEO GEOLOGIA, GEOTECNIA E MEIO AMBIENTE.

CNPJ: 13.044.196/0001-68

Rua José Bonifácio, nº 235, sala 202, Edifício Atlanta, Centro

Xanxerê – SC

CEP: 89.820-000

Telefone: (49)3433-6188

E-mail: contato@ingeoweb.com.br

Site: www.ingeoweb.com.br

APRESENTAÇÃO



INGEO GEOLOGIA, GEOTECNIA E MEIO AMBIENTE, representada pelo seu Geólogo Eduardo Baptista, têm a grata satisfação de disponibilizar à DESIGN HEAD o estado da arte do conhecimento do meio físico, em especial a geologia e a geotecnia, do Projeto Executivo do Túnel de Desvio do Rio Marrecas, localizado na cidade de Francisco Beltrão – PR.

Para a elaboração do Projeto Executivo de um Túnel de Desvio, é de fundamental importância o conhecimento do meio físico que está diretamente relacionado a ele, em especial do seu arcabouço geológico, características geotécnicas dos materiais, entre outras.

Na elaboração deste projeto e seus anexos foram utilizadas informações quanto a geologia e local e as condições geotécnicas dos materiais a serem escavados, também foram realizadas vistorias de capo visando encontrar o melhor local para a construção do túnel de desvio.

O relatório é subdividido em cinco capítulos que são: (I) Introdução, (II) Caracterização Fisiográfica, (III) Aspectos Construtivos, (IV) Considerações Finais e (V) Referências Bibliográficas. Na pasta denominada Documentos Jurídicos seguem os documentos pertinentes.

A INGeo sente-se honrada em prestar-lhe serviços profissionais de qualidade e está a total disposição para qualquer esclarecimento que se entenda necessário.

Xanxerê - SC, novembro de 2018.

Eduardo Gabriel de Pauli Baptista

INGEO ESTUDOS GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS E AMBIENTAIS LTDA

SIGLAS E NOTAÇÕES

Siglas:

ABGE: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental
ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
ART: Anotação de Responsabilidade Técnica
NBR: Norma Brasileira Regulamentadora
RQD: Rock Quality Designation (Índice de Qualidade da Rocha)
SR: Sondagem Rotativa
PI: Poço de Inspeção

Notações:

An: Grau de Alteração da Rocha
C_n: Grau de Coerência da Rocha
En: Espaçamento das descontinuidades
Fn: Grau de Fraturamento da Rocha
K: Condutividade Hidráulica
Nspt: Grau de Resistência do Solo
PE: Permeabilidade Específica (ℓ/min.m.Kg/cm²)
QE: Vazão efetiva ou absorção (ℓ/min.m)
Rn: Grau de Índice de Qualidade da Rocha

ÍNDICE

I. INTRODUÇÃO 1

I.i. OBJETIVOS 1

I.ii. JUSTIFICATIVA 1

I.iii. LOCALIZAÇÃO 1

I.iv. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO 2

II. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA..... 5

II.i. Aspectos Geológicos-Geotécnicos..... 5

II.i.1.1. Domínios Geológico-Geotécnicos 5

II.ii. Campanha de sondagem..... 8

II.ii.1. SONDAGEM ROTATIVA 8

II.ii.1. SR-01 8

II.ii.2. SR-02..... 12

II.ii.3. SR-03..... 16

III. ASPECTOS CONSTRUTIVOS..... 22

III.i. ESCAVAÇÕES 23

III.i.1. ESCAVAÇÃO SUBTERRÂNEA..... 23

III.i.1.1. Esquema de fogo..... 24

III.i.1.2. Equipamento de furação 28

III.i.1.3. Carregamento dos explosivos 29

III.i.1.4. Serviços complementares 29

III.ii. TRATAMENTOS GEOTÉCNICOS 30

I.I.1. TRATAMENTOS DO TÚNEL DE DESVIO..... 30

III.ii.1.1. Classificação geomecânica do Q de Barton..... 32

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS 41

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 49

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – QUADRO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DA ROCHA

APÊNDICE 2 – QUADRO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO UNIAXIAL DAS ROCHAS

ANEXOS

ANEXO 1 – MAPA GEOTÉCNICO LOCAL

ANEXO 2 – PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DO TÚNEL DE DESVIO

ANEXO 3 – CLASSIFICAÇÃO DE SUPORTE DO TÚNEL DE DESVIO

ANEXO 4 – TRATAMENTO SISTEMÁTICO DO EMBOQUE E DESEMBOQUE DO TÚNEL DE DESVIO

ANEXO 5 – CATEGORIAS DE SUPORTE

ANEXO 6 – ENFILAMENTO DO EMBOQUE E DESEMBOQUE DO TÚNEL DE DESVIO

ANEXO 7 - BOLETIM DE MAPEAMENTO GEOMECÂNICO DO TÚNEL

ANEXO 8 – BOLETIM DE SONDAGEM ROTATIVA SR-01

ANEXO 9 – BOLETIM DE SONDAGEM ROTATIVA SR-02

ANEXO 10 – BOLETIM DE SONDAGEM ROTATIVA SR-03



I. INTRODUÇÃO

I. INTRODUÇÃO

I.i. OBJETIVOS

- Fornecer informações para o projeto executivo do túnel de desvio do Rio Marrecas, localizado em Francisco Beltrão – PR.

I.ii. JUSTIFICATIVA

Túneis de Desvio e Barragens de Contenção de Cheias são utilizados como instrumentos para evitar alagamentos em épocas de cheia em determinada cidade ou região. As barragens de contenção são construídas com o intuito de reservar parte da água que precipita em sua bacia de contribuição e evitar que essa água chegue aos centros urbanos ao mesmo tempo, enquanto que os Túneis de Desvio são utilizados para reduzir o percurso de um rio ou desviá-lo de centros urbanos.

A cidade de Francisco Beltrão, localizada no sudoeste do Paraná foi construída próximo ao Rio Marrecas e em parte de sua planície de inundação, onde frequentemente ocorrem problemas de inundação, como no ano de 2010 quando 950 pessoas ficaram desalojadas depois de ocorrer 415 mm de precipitação em um mês segundo dados do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e da Defesa Civil, ainda segundo o IAPAR e a Defesa Civil em 2011 a situação se repetiu onde 430 pessoas ficaram desalojadas, em 2013 e 2014 mais casos de enchentes.

Este projeto tem o intuito de minimizar os alagamentos em épocas de grande volume de chuva desviando o Rio Marrecas no seu trecho de planície e evitando que a cidade de Francisco Beltrão sofra com desalojamentos e perdas econômicas.

I.iii. LOCALIZAÇÃO

O Túnel de Desvio do Rio Marrecas será construído entre os bairros Luther King e Jardim Itália na região central da cidade de Francisco Beltrão no estado do Paraná, conforme demonstrado na Figura 1.

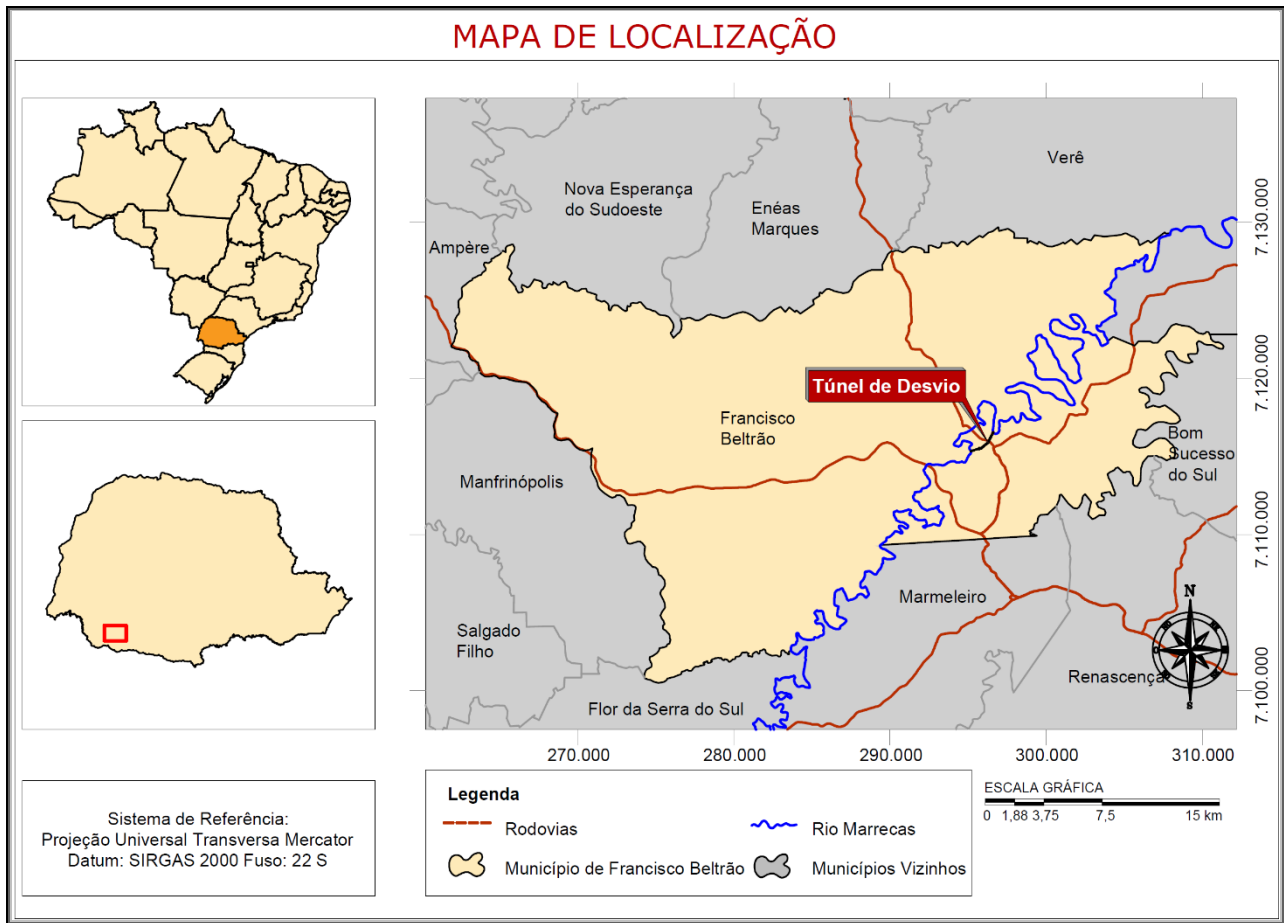


Figura 1. Imagem demonstrando a localização do Túnel de Desvio do Rio Marrecas no município de Francisco Beltrão – PR.

I.iv. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O Túnel de Desvio do Rio Marrecas é um projeto com o objetivo de contenção de cheias, localizado na Cidade de Francisco Beltrão – PR o túnel possui um comprimento de 1.108 metros. A cota do emboque do túnel deverá ser em 531,00m e a cota de desemboque em 515,40m totalizando desnível de 15,60 metros. O projeto é constituído pelo Canal de Aproximação, Emboque do Túnel, Vertedouro Basculante e Desemboque do Túnel.

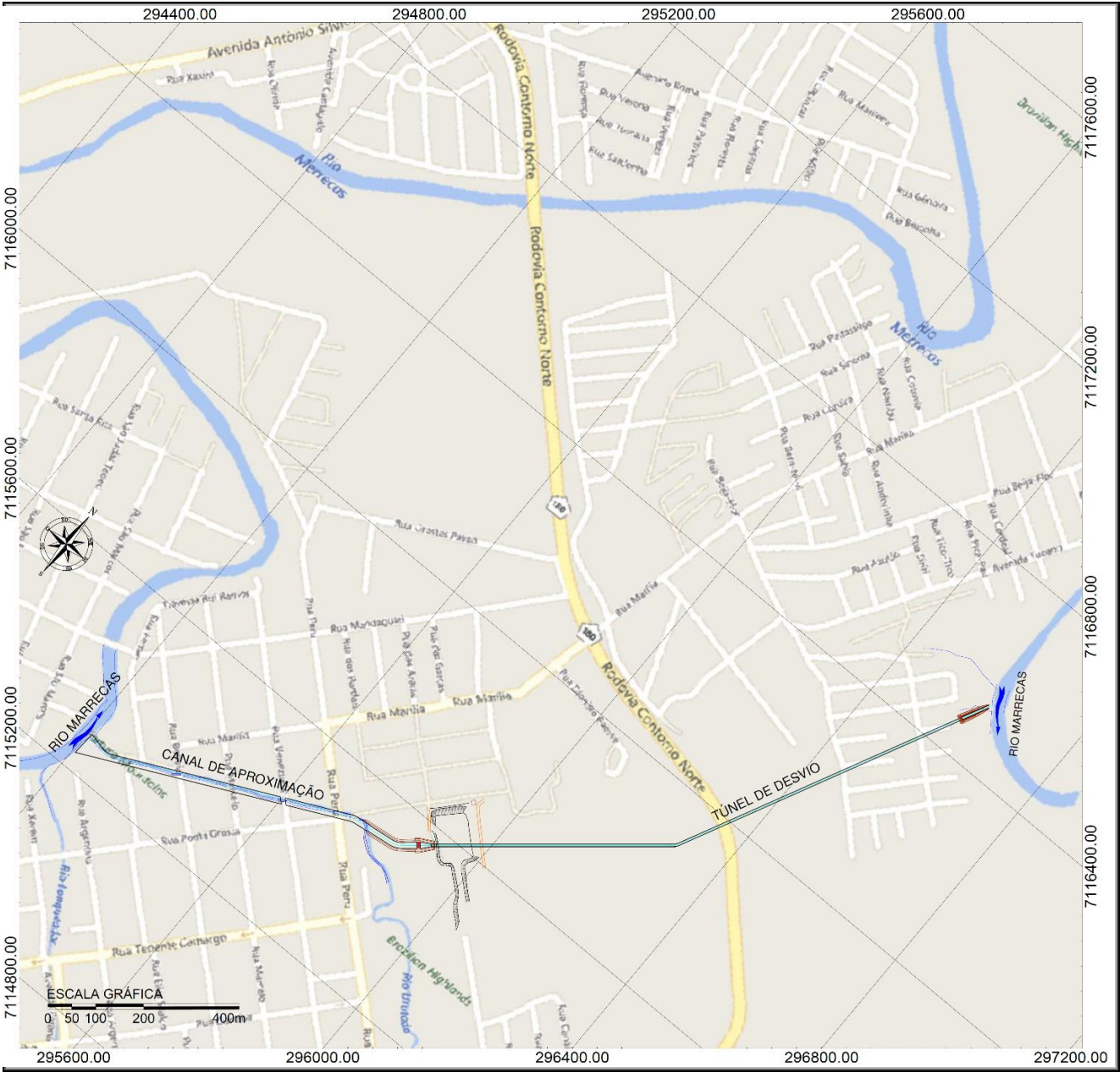


Figura 2. Arranjo Geral Túnel de Desvio da Rio Marrecas.



II. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA

II. CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA

II.i. ASPECTOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS

Para a identificação dos aspectos geológicos e geotécnicos da área diretamente afetada pelo Túnel de Desvio do Rio Marrecas, foram realizados trabalhos de levantamento bibliográfico, fotointerpretação, mapeamento de campo e investigação direta do subsolo com Poços de Inspeção. Através destes trabalhos foi possível elaborar o Mapa Geológico-Geotécnico Local, bem como os Perfis Geológico-Geotécnicos.

O Mapa Geológico-Geotécnico (Figura 3) é elaborado com a interpolação das características geológicas (rocha), pedológicas (solo) e morfológicas (relevo), subdividindo assim a área em **Domínios Geológicos-Geotécnicos**. Já em perfil, os Domínios Geotécnicos são subdivididos em **Unidades Geológicas-Geotécnicas** seguindo as orientações da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (acrônimo em inglês de ISRM), onde o material é classificado com o nome geológico simplificado, seguido de algumas características geotécnicas de interesse, como de exemplo *Basalto Maciço A1-C1-F2*. Desta forma, o mapa em conjunto dos perfis geotécnicos fornece subsídios relacionados aos aspectos físicos que interagem de forma particular ao projeto.

II.i.1.1. Domínios Geológico-Geotécnicos

Na área diretamente afetada pelo Túnel de Desvio do Rio Marrecas na cidade de Francisco Beltrão - PR, foram identificados dois Domínios Geológico-Geotécnico que são classificados como SGLVFB e SGNLFB, descrito a seguir.

II.i.1.1.1. DOMÍNIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO SGLVFB

Domínio pertencente a Formação Serra Geral, constituído por dois derrames consecutivos, geralmente há intercalações de material sedimentar – arenitos e siltitos – ditos intratrapianos, representados por basalto amigdaloidal de base, basalto compacto, basalto amigdaloidal, basalto vesicular e brecha basáltica e/ou sedimentar; relevo plano a ondulado, apresenta dissecação média e topos alongados, apresenta vertentes convexas e vales em V aberto; solo de textura argilosa, A proeminente, fase floresta subtropical perenifólia.

II.i.1.1.2. DOMÍNIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO SGNLFB

Domínio pertencente a Formação Serra Geral, constituído por dois derrames consecutivos, geralmente há intercalações de material sedimentar – arenitos e siltitos – ditos intratrapianos, representados por basalto amigdaloidal de base, basalto compacto, basalto amigdaloidal, basalto vesicular e brecha basáltica e/ou sedimentar; relevo ondulado a forte ondulado, apresenta

MAPA GEOTÉCNICO LOCAL

LEGENDA

| DOMÍNIO GEOTÉCNICO | CARACTERÍSTICAS FISIográfICAS |
|--------------------|--------------------------------|
| | DOMÍNIO GEOTÉCNICO 01 - SGLVFB |
| | DOMÍNIO GEOTÉCNICO 02 - SGNLFB |

CONVENÇÕES GEOTÉCNICAS

| | |
|--|----------------------|
| | Fraturas |
| | Contatos Pedológicos |

Desenho do Arranjo Geral do Túnel de Desvio do Rio Marrecas em Francisco Beltrão elaborado e fornecido pela Design Head.

Informações geológicas, geomorfológicas e pedológicas obtidas através de fotointerpretação e levantamento expedito de campo com caminhamento e pontos de inspeção ao longo de toda área diretamente afetada pelo empreendimento e campanha de investigação do subsolo.

Figura 3. Mapa Geológico-Geotécnico local do Túnel de Desvio do Rio Marrecas. Simplificado do ANEXO 1.

II.i.1.1.3. Túnel de Desvio

No eixo do Túnel de Desvio foram executadas 03 (três) Sondagens Rotativas e 10 (dez) Poços de Inspeção para a identificação geotécnica dos materiais do subsolo. Verificou-se que o substrato rochoso é constituído por basalto de estrutura maciça (Figura 4 - simplificado do ANEXO 2).

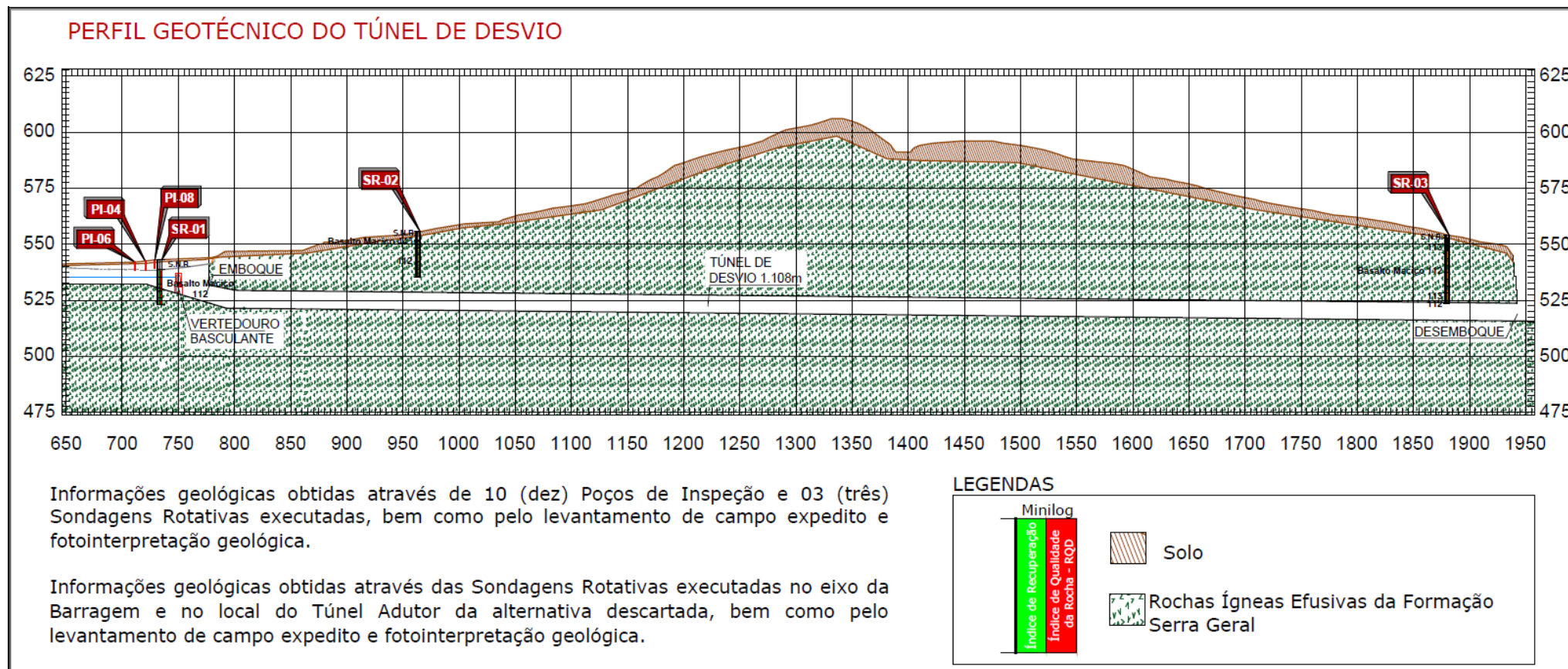


Figura 4. Perfil Geotécnico do Circuito Hidráulico. Simplificado do ANEXO 2.

II.ii. CAMPANHA DE SONDAGEM

II.ii.1. SONDAGEM ROTATIVA

Na presente campanha de sondagem foram executadas 03 (três) Sondagens Rotativas, a seguir são apresentadas as sondagens executadas, com uma breve descrição do material encontrado na presente campanha de sondagem e o registro fotográfico dos testemunhos obtidos. Os Boletins de Perfil de Sondagem (LOG's) na íntegra podem ser visualizados nos **ANEXOS 8, 9 e 10**.

II.ii.1. SR-01

A Sondagem Rotativa (SR-01) foi executada nos dias 10 e 11 de fevereiro de 2017, com a sonda SS-21, pelo sondador Bruno. Atingiu 20,00 metros de profundidade, sendo limitada pelo cliente. Atravessou 03 (três) contatos de unidades geotécnicas descritas no Boletim de Perfil Sondagem (**ANEXO 8**). O nível d'água medido 24 horas após o final da execução da sondagem foi de 02,00 metros de profundidade. A seguir é apresentada a imagem da execução da sondagem e na sequência o registro fotográfico dos testemunhos coletados na presente sondagem.



Figura 5. Registro fotográfico da execução da sondagem SR-01.



Figura 6. Registro fotográfico dos testemunhos obtidos na sondagem SR-01.

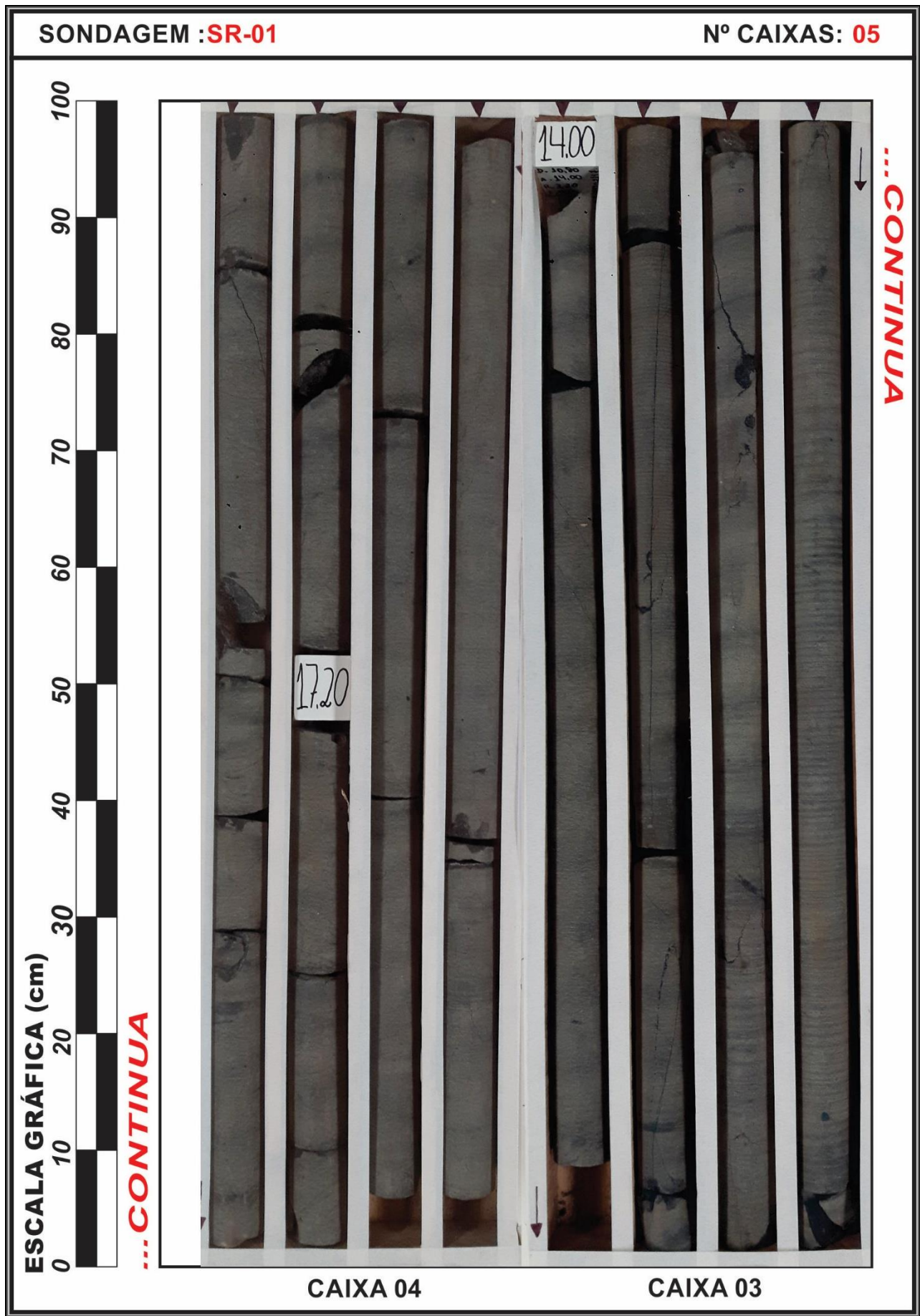


Figura 7. Registro fotográfico dos testemunhos obtidos na sondagem SR-01.



Figura 8. Registro fotográfico dos testemunhos obtidos na sondagem SR-01.

II.ii.2. SR-02

A Sondagem Rotativa (SR-02) foi executada no dia 12 de fevereiro de 2017, com a sonda SS-21, pelo sondador Bruno. Atingiu 20,30 metros de profundidade, sendo limitada pelo cliente. Atravessou 04 (quatro) contatos de unidades geotécnicas descritas no Boletim de Perfil Sondagem (**ANEXO 9**). O nível d'água medido 24 horas após o final da execução da sondagem foi de 01,80 metros de profundidade. A seguir é apresentada a imagem da execução da sondagem e na sequência o registro fotográfico dos testemunhos coletados na presente sondagem.



Figura 9. Registro fotográfico da execução da sondagem SR-02.

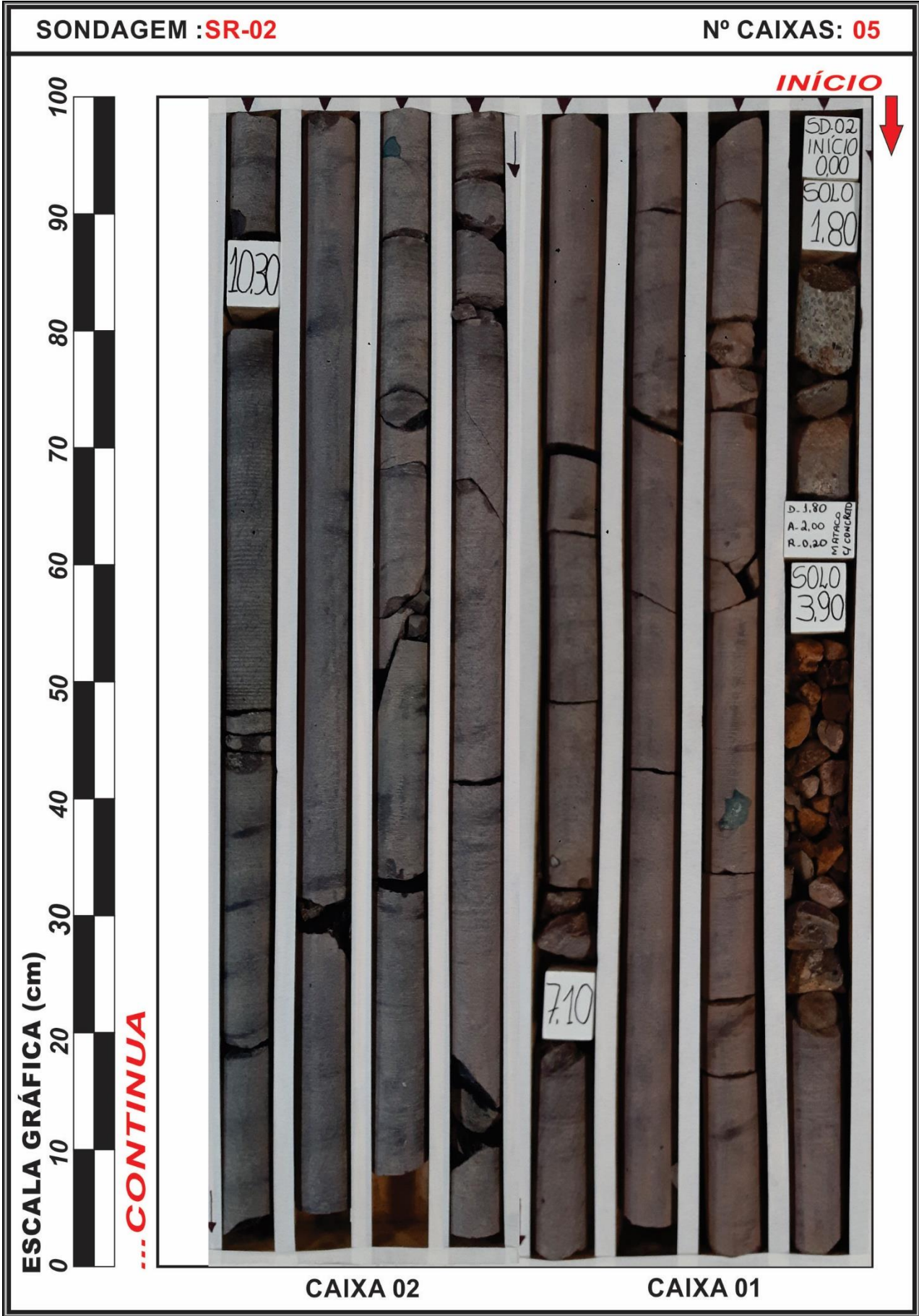


Figura 10. Registro fotográfico dos testemunhos obtidos na sondagem SR-02.

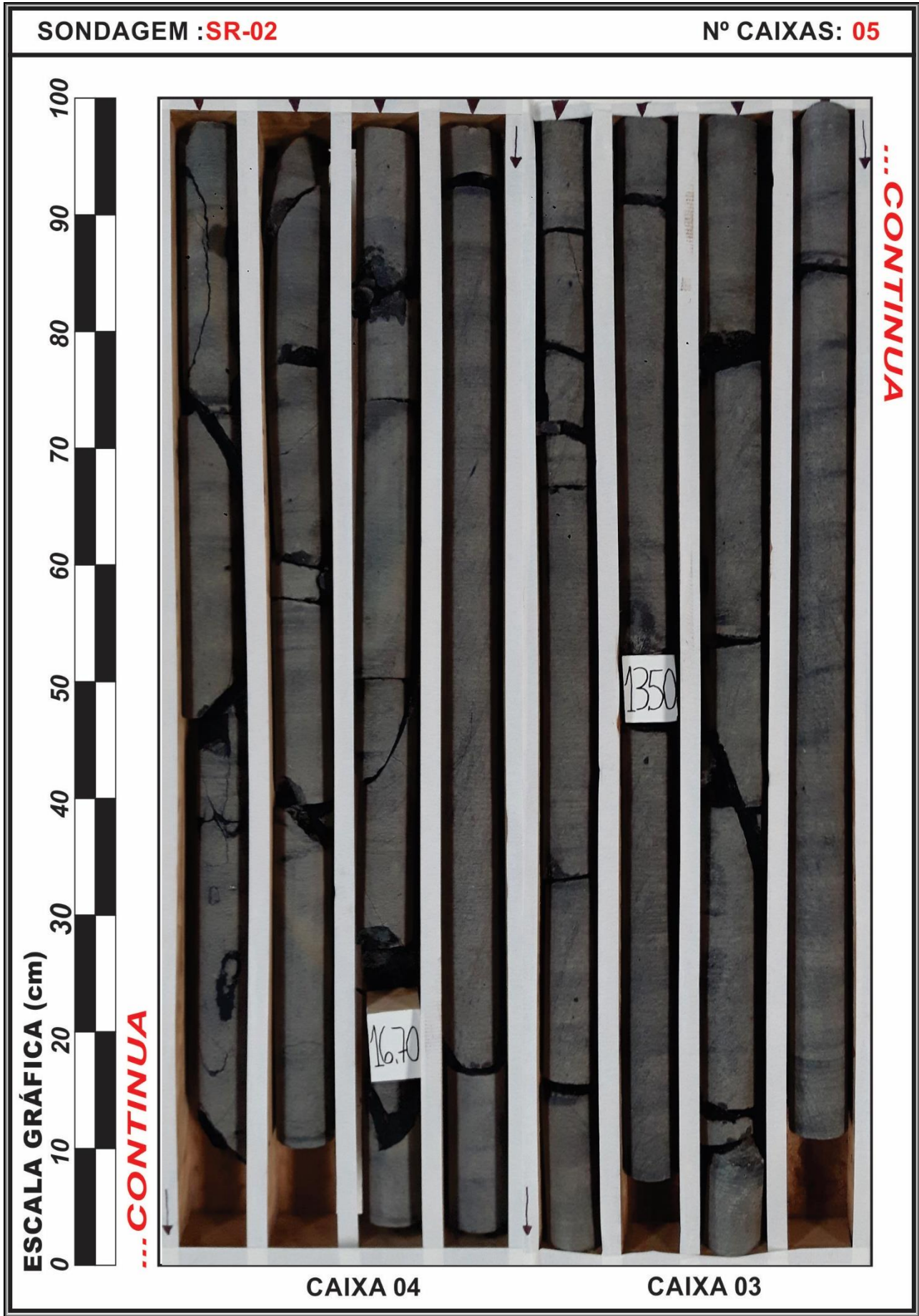


Figura 11. Registro fotográfico dos testemunhos obtidos na sondagem SR-02.



Figura 12. Registro fotográfico dos testemunhos obtidos na sondagem SR-02.

II.ii.3. SR-03

A Sondagem Rotativa (SR-03) foi executada nos dias 08 e 09 de fevereiro de 2017, com a sonda SS-21, pelo sondador Bruno. Atingiu 30,10 metros de profundidade, sendo limitada pelo cliente. Atravessou 04 (quatro) contatos de unidades geotécnicas descritas no Boletim de Perfil Sondagem (**ANEXO 10**). O nível d'água medido 24 horas após o final da execução da sondagem foi de 09,10 metros de profundidade. A seguir é apresentada a imagem da execução da sondagem e na sequência o registro fotográfico dos testemunhos coletados na presente sondagem.



Figura 13. Registro fotográfico da execução da sondagem SR-03.



Figura 14. Registro fotográfico dos testemunhos obtidos na sondagem SR-03.



Figura 15. Registro fotográfico dos testemunhos obtidos na sondagem SR-03.

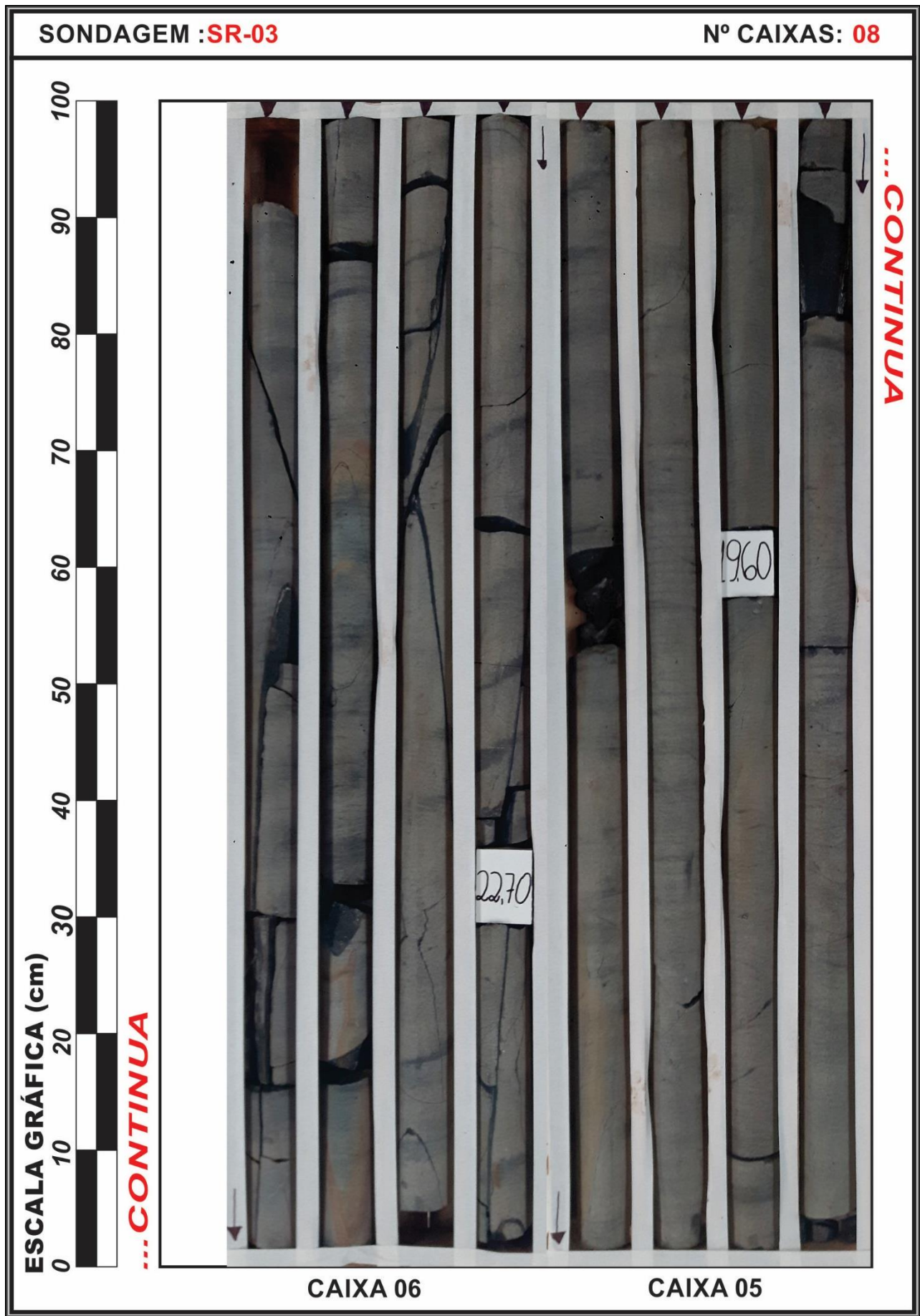


Figura 16. Registro fotográfico dos testemunhos obtidos na sondagem SR-03.

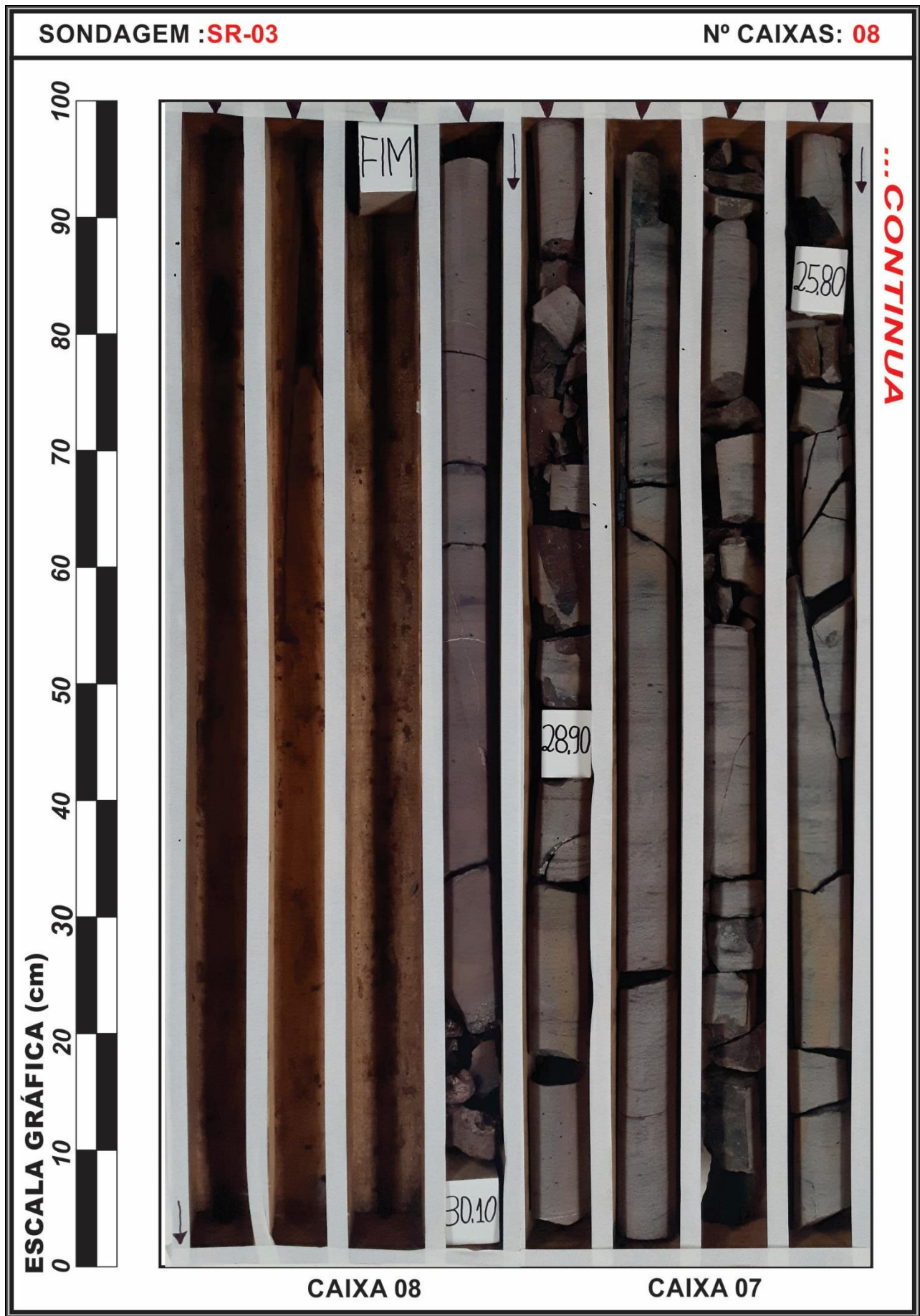


Figura 17. Registro fotográfico dos testemunhos obtidos na sondagem SR-03.



III. ASPECTOS CONSTRUTIVOS

III. ASPECTOS CONSTRUTIVOS

O Túnel de Desvio do Rio Marrecas deverá ser escavado em rocha basáltica, são 1.108 metros de túnel com uma seção de 5,0 metros de largura por 5,0 metros de altura, totalizando 22,31 m² de área, o túnel ainda conta com o rebaixo de 3,0 metros a ser escavado em uma segunda etapa, o rebaixo possui área de 15,0 m² e os mesmos 1.108 metros de extensão.

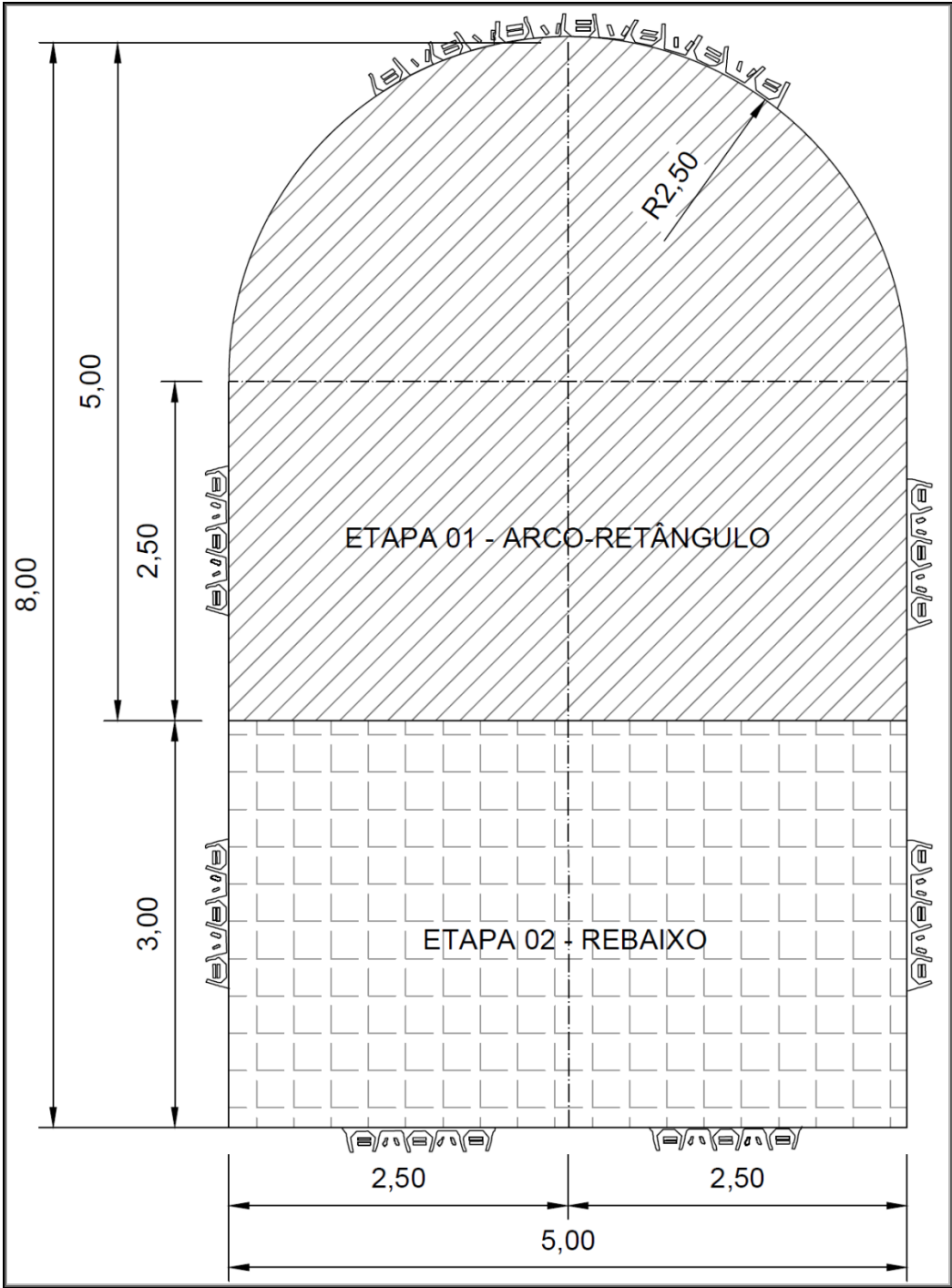


Figura 18. Seção do Túnel de Desvio do Rio Merrecas.

III.i. ESCAVAÇÕES

Escavação é o processo empregado para romper a compacidade do solo ou rocha, por meio de ferramentas e processos convenientes, tornando possível a sua remoção.

A crescente necessidade de escavações, que por sua vez vem se tornando cada vez maiores e mais profundas, decorre uma crescente valorização da Geologia de Engenharia e Geotecnia. Escavações precisam ser estáveis por períodos de tempo variáveis, desde poucas horas, até que um sistema de suporte ou obra definitiva seja implantado (por exemplo, tubulações em trincheiras), a até centenas de anos (túneis, grandes minerações, etc.).

A estabilidade das escavações pode ser função das próprias características do maciço, ou obtida por meio de revestimentos artificiais ou por reforço do maciço. Portanto, o projeto da escavação deve considerar os aspectos econômicos e de segurança que envolve essa estabilidade, otimizando a obra.

Na obra do Túnel de Desvio do Rio Marrecas estão programadas as execuções de escavações subterrâneas descrita nos próximos subcapítulos. Esta escavação deverá ser executada tanto em material de 1º, 2º e 3º categoria.

III.i.1. ESCAVAÇÃO SUBTERRÂNEA

Pelo fato de a escavação subterrânea ser confinada, com uma face livre somente, ela é tratada de forma distinta da escavação a céu aberto. A metodologia da escavação é diferente, em especial ao plano de fogo, no qual para a escavação do túnel é necessário ser criada uma segunda face livre para que a energia da explosão possa se dissipar. Para tanto, são utilizados planos de fogo especiais, descritos neste subcapítulo.

Genericamente, a escavação de um túnel em rocha é feita abrindo-se um certo número de furos na cabeceira, carregando-se com explosivos e detonando-os numa ordem pré-determinada. A escolha da sequência de escavação, ou seja, do avanço com seção plena ou parcelada, depende principalmente da área da seção do túnel, da natureza da rocha e do equipamento a disposição. O avanço em seção plena é sempre preferível do ponto de vista da rapidez, sempre que possível. Quando a seção é muito grande para o equipamento de furação será necessário escavar o túnel em calota e bancada.

O local do Túnel de Desvio do Rio Marrecas será escavado, quase que ele, em basalto maciço. Esta rocha quando pouco fraturada e pouco alterada apresenta características de escavabilidade boas, desta forma a rocha encontrada no local, geotecnicaamente, se comportara bem para a escavação, necessitando de tratamentos geotécnicos moderado, conforme descrito no capítulo de tratamentos geotécnicos.

III.i.1.1. Esquema de fogo

O esquema de fogo é composto de três partes distintas com características diversas, que são o **Pilão**, **Alargamento** e o **Contorno**, descritos a seguir (Figura 19).

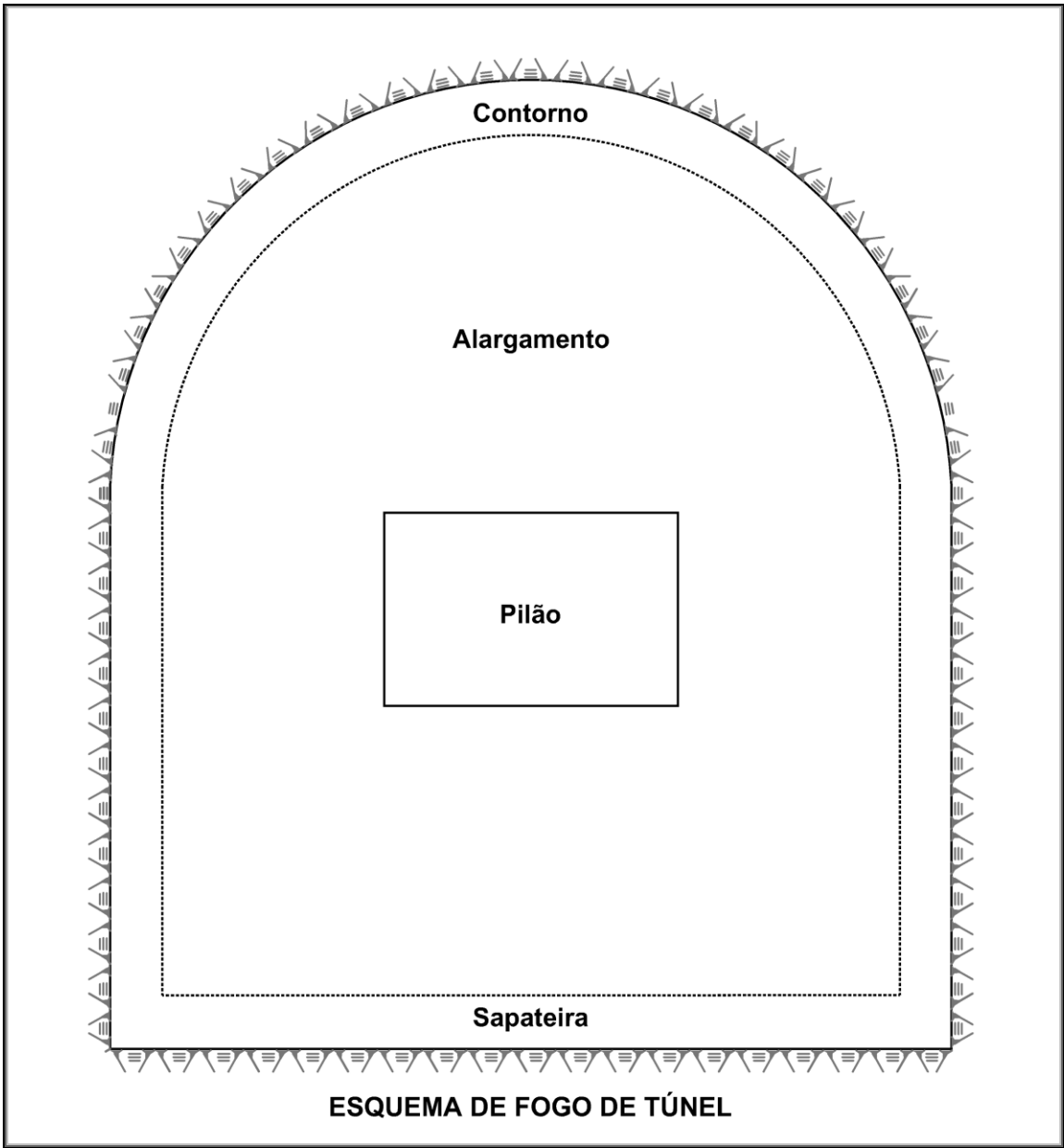


Figura 19. Esquema de fogo para escavação em túnel.

Pilão

O pilão realiza a primeira abertura, ao centro da cabeceira e no sentido do eixo do túnel. O objetivo do pilão é criar uma superfície livre contra a qual será efetuado o restante do desmonte, executado com furos auxiliares ou de alargamento.

O número de furos necessários, a fragmentação e o lançamento do entulho são influenciados pela posição do pilão. Do ponto de vista do desmonte é preferível locar o pilão o mais baixo possível. Desta forma o restante do fogo se processa para baixo, trabalhando com maior facilidade. A demais, o lançamento do entulho é menor, facilitando a limpeza.

Para se obter o avanço desejado é necessário que o pilão arranque pelo menos 90% da profundidade de furação. Portanto é importante escolher o tipo de pilão mais adequado em função da geometria da seção e da natureza da rocha. Em pequenas galerias com menos de 20m² é comum o emprego de pilões com furos paralelos, devido à falta para a execução de furos oblíquos, embora tais pilões impliquem maior trabalho de furação e gasto de explosivo mais elevado. Os pilões tipo **queimado ou burn cuts** são os mais antigos e até hoje os mais empregados. Caracterizam-se pela igualdade de diâmetro de todos os furos, carregados ou vazios. Os furos vazios, geralmente em número de 4, são dispostos simetricamente no centro do pilão (Figura 20).

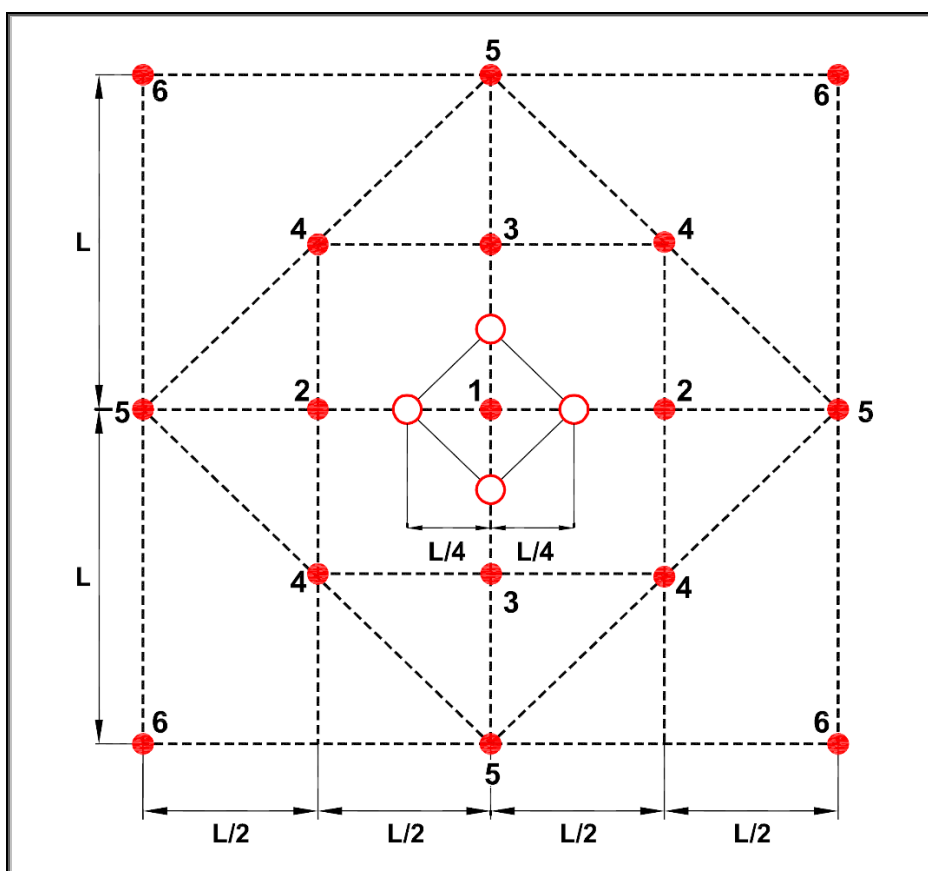


Figura 20. Pilão Queimado (burn cut).

Devido à grande importância do paralelismo dos furos, os pilões queimados não são recomendados para grandes avanços. As profundidades máximas de furação são de 2,4 3,2m para brocas de 7/8" e de 1" de diâmetro, respectivamente.

Para aumentar o avanço em túneis pequenos foram estudados diversos tipos de pilão com um furo central de maior diâmetro (50 a 100mm). Estes pilões possibilitam maiores avanços. Exigem, porém equipamentos especiais para executar o furo central (Figura 21).

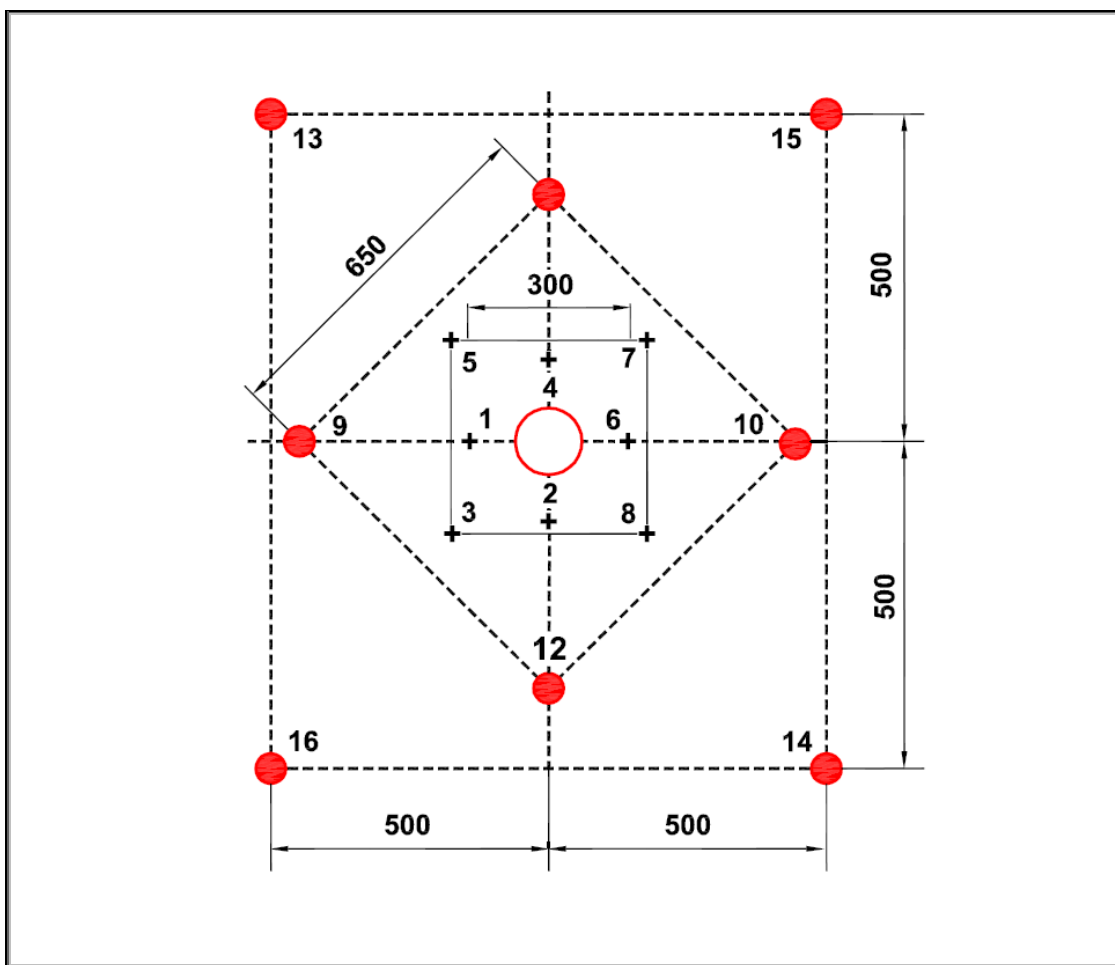
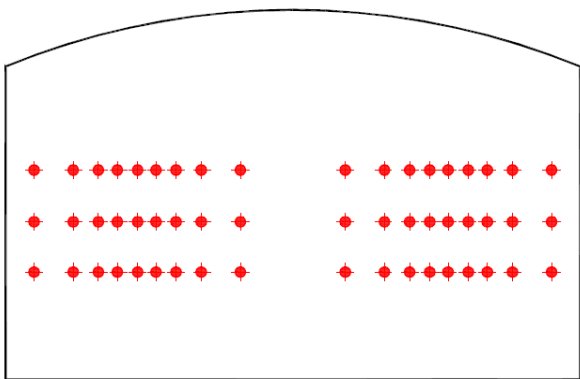
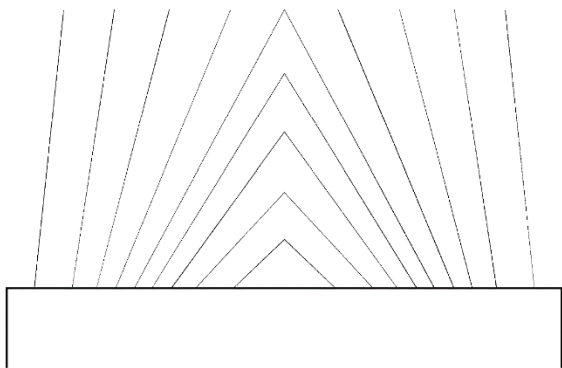


Figura 21. Pilão com grande furo central.

Em túneis maiores utilizam-se, de preferência, pilões de furos inclinados no plano horizontal, mais econômicos na razão de furação e no consumo de explosivo. Devido ao menor engasgamento dos furos, também propiciam menores abalos sísmicos quando comparados com pilões de furos paralelos. O tipo mais comum é o pilão em "V", composto de 3 fileiras horizontais de furos convergentes (Figura 22). Este pilão permite um avanço 40 a 50% da largura do túnel. Devido à grande importância da precisão de furação dos furos convergentes, os pilões em "V" requerem equipamentos automáticos, preferivelmente computadorizados, para obter grandes avanços. As profundidades máximas de furação são de 6 m com avanço de 5,5 m aproximadamente.



a) Furação na cabeceira.



b) Corte horizontal.

Figura 22. Pilão em "V".

Alargamento

O alargamento deverá providenciar fragmentação satisfatória e disposição conveniente do entulho, dentro do mesmo avanço alcançando pelo pilão. Os furos auxiliares agem como simples furos de bancada. Partindo das superfícies livres criadas pelo pilão, a locação dos furos é feita de tal forma que o ângulo de desmonte seja a 90°, conforme indicado na Figura 23, sendo necessário assegurar que todas as cargas, com o mesmo tempo de espera, tenham uma superfície livre à sua frente.

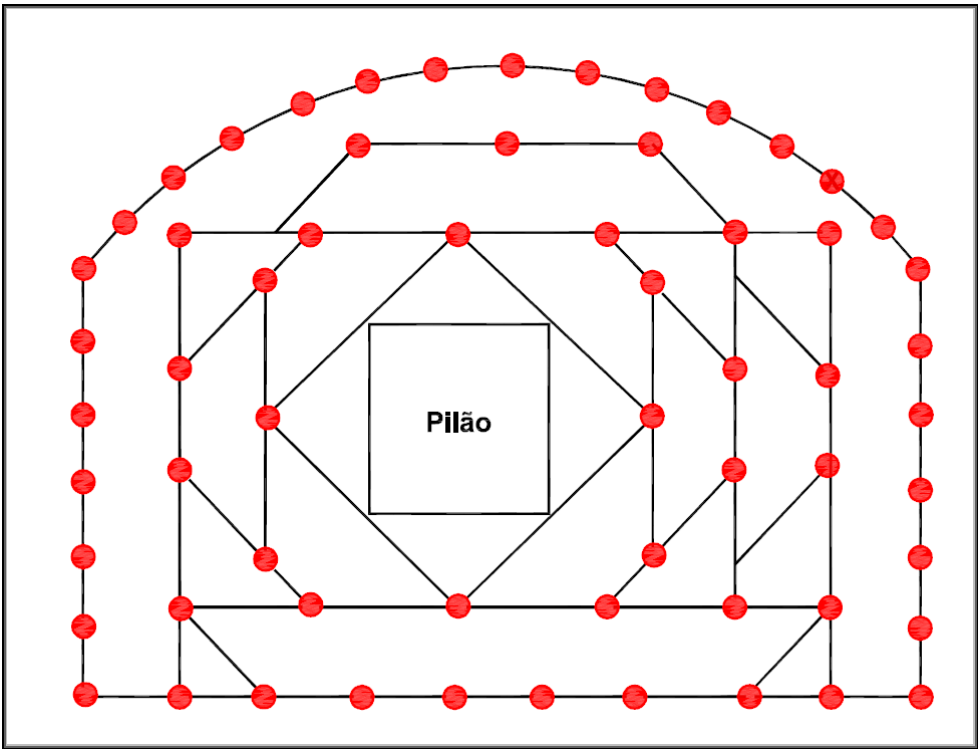


Figura 23. Arranjo geral dos furos do alargamento.

Contorno

Com a utilização de métodos que permitem obter um contorno acuradamente cortado (smooth blasting), a rocha parece ser cortada “a faca”, sem danos causados pelas detonações. A carga de explosivo deve ser dimensionada assim que a pressão de detonação sobre as paredes dos furos seja inferior à resistência à compressão da rocha (para não criar trincas em todas as direções) mas seja suficiente apenas para criar uma única fenda entre os furos. Este resultado é obtido com uma carga média não superior a 400 g/m².

O espaçamento entre os furos (E) é de aproximadamente 10 diâmetros e o afastamento dos furos auxiliares mais próximos é de 0,5 a 0,8 E. Encontram-se no mercado cargas especiais para furos de contorno, com razão de carga linear bastante reduzida e explosivos de baixa impedância (densidade X velocidade de detonação). Normalmente, um avanço efetivo tem forma levemente cônica devido ao inevitável desvio divergente dos furos de contorno, causado pelas próprias perfuratrizes, conforme indicado da **Figura 24**. Os furos são embocados na linha de projeto, mas como o fundo diverge em até 10% do comprimento do furo, causam um certa sobreescavação (overbreak).

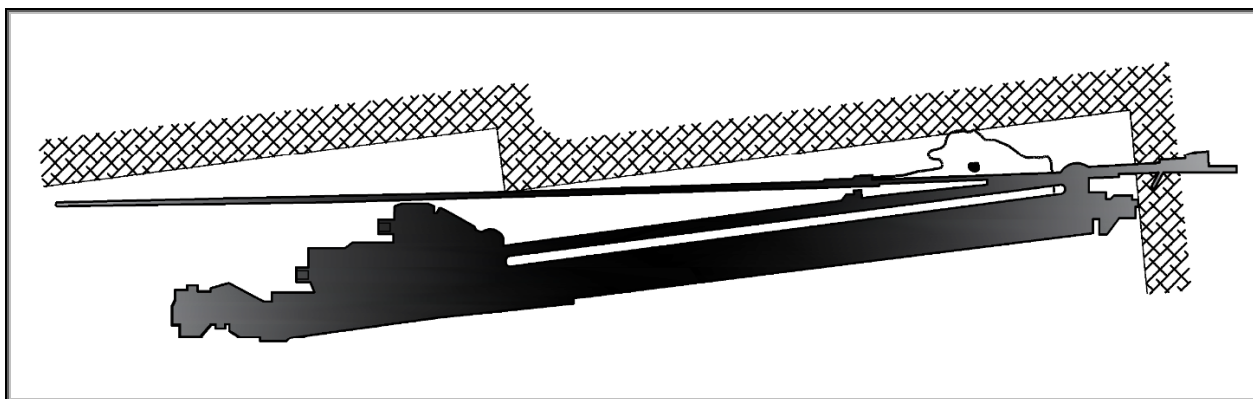


Figura 24. Demonstração do desvio dos furos de contorno.

III.i.1.2. Equipamento de furação

Para furação, quando a altura dos túneis for maior que a altura máxima alcançável com martelo de avanço pneumático simples apoiado no piso, são utilizados equipamentos tipo jumbo, carreta com perfuratrizes pesadas montadas sobre lanças de avanço movimentadas por braços. Existem muitos modelos de jumbo mas, normalmente, as perfuratrizes são hidráulicas e a movimentação das lanças pode ser computadorizada para eliminar, praticamente, todos os erros de embocamento e de alinhamento. O diâmetro dos furos varia entre 1 ¾" (45 mm) e 2 ½" (64 mm).

III.i.1.3. Carregamento dos explosivos

O carregamento e a detonação dos explosivos seguem, em linhas gerais, as diretrizes indicadas no correspondente item das escavações a céu aberto. Estas diretrizes são adaptadas às particularidades próprias do desmonte em túneis, de tal maneira que as cargas de fundo são maiores, devido ao maior engasgamento dos furos; as cargas de coluna podem ser diminuídas, especialmente nos furos com menor afastamento e, graça à alta velocidade dos explosivos, o tampão é geralmente dispensável. Os furos são detonados em sequência, com espoletas elétricas ou não, estas últimas hoje predominando por motivos de segurança. As espoletas comuns ainda são usadas especialmente em minerações.

O fogo é iniciado a distância segura, a céu aberto ou em nichos situados a um mínimo de 300 m da cabeceira. Se a iniciação for elétrica, a linha que conduz a corrente para as espoletas (linha de detonação) deverá correr ao longo da parede oposta à fiação da iluminação. O tipo de explosivo utilizado deve ter as seguintes características: boa resistência à água, baixo teor de gases tóxicos (a Classe I é obrigatória) e velocidade de detonação apropriada para o tipo de rocha.

De preferência são usadas gelatinas, cujos componentes as tornam insensíveis à água. A distribuição da carga de explosivo é variável conforme a posição dos furos na cabeceira. No pilão, a concentração é maior (de 7 a 8 kg/m³). Para os furos auxiliares este valor diminui para 0,8 a 1,2 kg/m³ na medida que aumenta o afastamento. Por esta razão os túneis de pouca seção têm custo por m³ mais elevado que os de grande seção.

III.i.1.4. Serviços complementares

Os serviços complementares, à escavação em si, correspondem à retirada do entulho e à estabilização da cavidade.

A retirada de entulho compreende as operações de carregamento ou limpeza e transporte para fora do subterrâneo, através de diversos métodos, exemplificados na Quadro 1.

A estabilização das cavidades depende das condições do maciço rochoso e compreendem métodos de tratamento dos maciços como atirantamento, concreto projetado, cambotas metálicas, concreto estrutural, etc., apresentados no Tratamentos Geotécnicos.

Quadro 1. Exemplos de métodos e equipamentos de retirada de entulho.

| ÁREA DO TÚNEL | EQUIPAMENTO DE LIMPEZA | TRANSPORTE |
|---------------|---|---------------------------|
| Muito grande | Escavadeira, diesel ou elétrica. | Rodoviário |
| Grande | Pá carregadeira de esteira ou pneus, eventualmente em par e com descarga lateral. | Rodoviário |
| Média | Idem, eventualmente com descarga lateral. | Rodoviário ou Ferroviário |
| Pequena | Carregadeira sobre trilhos. | Ferroviário |

III.ii. TRATAMENTOS GEOTÉCNICOS

I.i.1. TRATAMENTOS DO TÚNEL DE DESVIO

Na escavação de qualquer túnel, é imprescindível a preocupação com a segurança dos trabalhadores; então, mesmo que um túnel seja temporário, como os túneis de desvio, a aplicação de tratamentos geotécnicos para o suporte do maciço é previsto.

Além do avanço de escavação normal de um túnel, é importante destacar o momento do emboque de um túnel, onde normalmente envolve circunstâncias peculiares, sendo que deste modo a aplicação de um tratamento geotécnico detalhado é imprescindível. Segue na Figura 25 o tratamento para o emboque do Túnel de Desvio do Rio Marrecas.

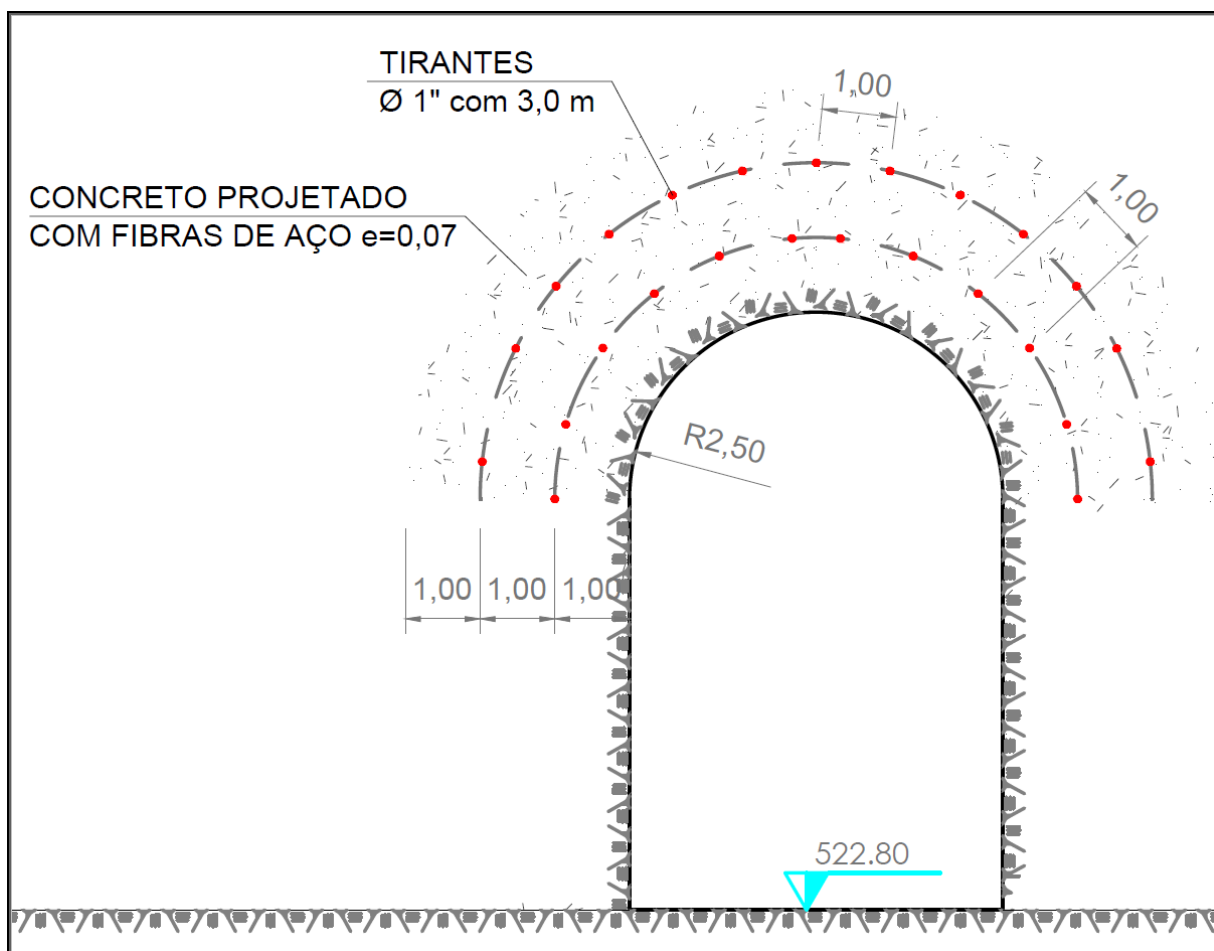


Figura 25. Tratamento para o emboque do túnel.

Durante o ciclo de escavação normal do túnel, logo após a remoção do material de detonação, devem ser realizados os mapeamentos geotécnicos, a indicação do tratamento necessário e a aplicação do tratamento.

A aplicação do tratamento do túnel deverá ser com base na classificação geomecânica do Q de Barton. Com o valor de Q, é possível determinar o tempo de autoportância, o vão máximo sem necessidade de suporte, bem como os tipos de suporte que devem ser instalados para cada classe Q (Figura 26).

Segue em anexo a representação dos tratamentos referente as classes.

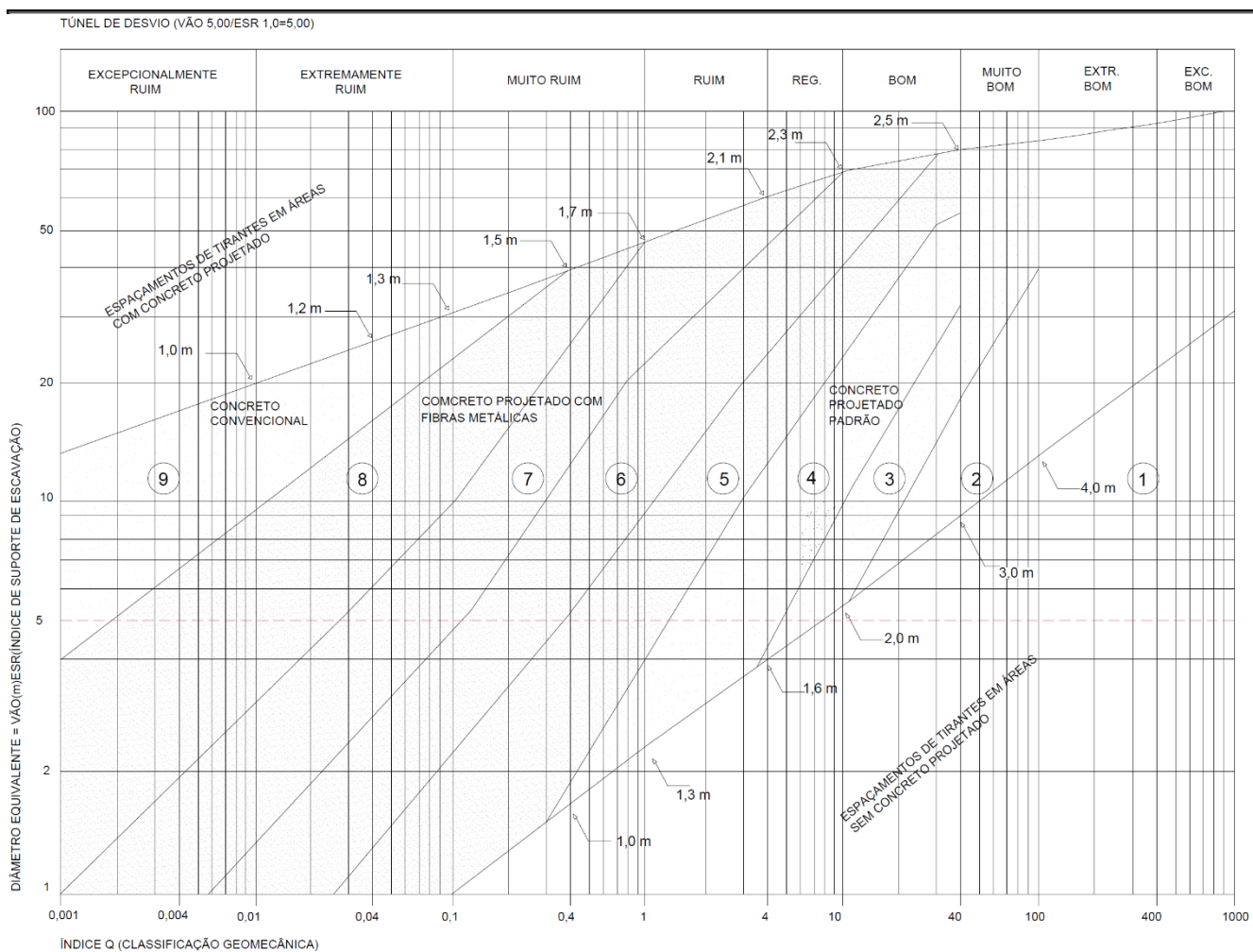


Figura 26. Diagrama logarítmica para a determinação do tratamento geotécnico com base na classificação do Q de Barton.

III.ii.1.1. Classificação geomecânica do Q de Barton

A partir da compilação de mais de 200 casos históricos de obras de escavações subterrâneas, Barton et al. (1974) propuseram um novo sistema para quantificar o comportamento geomecânico de maciços rochosos, o sistema de classificação Q do NGI Instituto Geotécnico da Noruega. (ABGE, 1998).

Está classificação geomecânica deve ser realizada por um profissional Geólogo logo após cada avanço da escavação, com o mapeamento conforme o Boletim de Mapeamento Geomecânico do Túnel (ANEXO 8).

A obtenção do Q de Barton se dá através da Fórmula 1, apresentada abaixo:

Fórmula 1. Índice Q de Barton

$$Q = \frac{RQD}{J_n} + \frac{J_r}{J_a} + \frac{J_w}{SRF}$$

Sendo:

RQD = Índice de designação da qualidade da rocha (*Rock Quality Designation*)

J_n = Índice de influência do número de famílias das descontinuidades

J_r = Índice de influência da rugosidade das paredes das descontinuidades

J_a = Índice de influência da alteração das paredes das descontinuidades

J_w = Índice de influência da ação subterrânea

SRF = Índice de influência do estado de tensão no maciço no entorno da cavidade (*Stress Reduction Factor*)

Cada um dos três termos para o cálculo de Q são interpretados como parâmetros quantitativos designados para expressar os efeitos individuais, das dimensões dos blocos (RQD/J_n), da resistência ao cisalhamento ao longo das superfícies das descontinuidades (J_r/J_a) e das tensões operantes nas vizinhanças da cavidade (J_w/SRF). Estes índices permitem a representação quantitativa de grande variedade de condições geológicas, tendo sido derivados de casos de maciços de qualidade bastante pobre até maciços de excelente qualidade (Cecil, 1970 apud ABGE, 1998).

Obtido os valores específicos para cada índice, calcula-se o parâmetro Q pelo produto das três parcelas, que permite a classificação nominal do maciço, além do estabelecimento de correlações com inúmeras outras grandezas intervenientes no problema de interação suporte/maciço rochoso.

- RQD - Designação da Quantidade da Rocha (*Rock Quality Designation*)

O parâmetro RQD, no sistema de classificação Q, representa a densidade de descontinuidades por volume unitário de maciço, podendo ser estimado pela Fórmula 2.

Fórmula 2. Parâmetro RQD

$RQD = 115 - 3,3J_N$ ($RQD = 100\%$ para $I_v < 4,5$)

Os resultados obtidos através da Fórmula 2 podem ser classificados de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. RQD - Designação da Quantidade da Rocha (*Rock Quality Designation*)

| | | |
|----|-------------|----------|
| R1 | MUITO POBRE | 0 – 25 |
| R2 | POBRE | 25 – 50 |
| R3 | REGULAR | 50 – 75 |
| R4 | BOM | 75 – 90 |
| R5 | EXCELENTE | 90 – 100 |

Quando o RQD medido for ≤ 10 (incluindo zero) usar o valor 10 para determinação de Q; usar valores de intervalos múltiplos de 5.

- J_n – Índice de Influência do Número de Famílias das Descontinuidades

Segundo ABGE este índice é obtido pelo somatório do número de descontinuidades de um único sistema interceptadas ao longo de uma direção ortogonal ao seu plano, ponderada pelo comprimento individual das linhas de levantamento. Por exemplo, no caso de quatro sistemas de descontinuidades contabilizadas ao longo de quatro linhas com comprimentos respectivos de 10, 10, 5 e 10 m, obtém-se:

$J_n = \frac{6}{10} + \frac{24}{10} + \frac{5}{5} + \frac{1}{10} = 4,1 \text{ juntas/m}^3$

A Tabela 2 apresenta valores padrão para o J_n em função da quantidade de sistemas de descontinuidades.

Tabela 2. Número de Famílias de Descontinuidades.

| | | |
|---|--|-----------|
| A | MACIÇO, NENHUMA OU POUCAS JUNTAS | 0,5 – 1,0 |
| B | SISTEMAS DE DESCONTINUIDADES | 2,0 |
| C | UM SISTEMA DE DESCONTINUIDADE MAIS DESCONTINUIDADES ALEATÓRIAS | 3,0 |
| D | DOIS SISTEMAS DE DESCONTINUIDADES | 4,0 |
| E | DOIS SISTEMAS DE DESCONTINUIDADES MAIS DESCONTINUIDADES ALEATÓRIAS | 6,0 |
| F | TRÊS SISTEMAS DE DESCONTINUIDADES | 9,0 |
| G | TRÊS SISTEMAS DE DESCONTINUIDADES MAIS DESCONTINUIDADES ALEATÓRIAS | 12,0 |

| | | |
|---|---|------|
| H | QUATRO OU MAIS SISTEMAS DE DESCONTINUIDADES, ALEATÓRIAS, MUITO FRATURADO, POLIEDROS IRREGULARES | 15,0 |
| I | ROCHA FRAGMENTADA, “BRITA” | 20,0 |

Em se tratando de túneis usar 3,0 J_n; para portais usar 2,0 J_n.

- J_r – Índice de Influência da Rugosidade das Paredes das Descontinuidades e J_a – Índice de Influência da Alteração das Paredes das Descontinuidades

O índice fornecido pelos coeficientes de rugosidade (J_r) e de alteração (J_a) das paredes das descontinuidades, deve ser aplicado ao sistema ou à descontinuidade em condições mais desfavorável, isto é, aquela que introduza a maior probabilidade de induzir a ruptura.

O sistema Q mostra-se, dentre a gama de sistemas de caracterização quantitativa de maciços rochosos, o mais sensível relativamente à avaliação da influência da resistência das descontinuidades, considerando-o como o fator de maior importância relativa para estimar o comportamento das escavações. A caracterização da rugosidade e da alteração para a “feição mais desfavorável em relação à obra”, representa a expressão mais destacada no sistema NGI, com peso preponderante no valor final de Q. Note-se que na qualificação “mais desfavorável” está embutida a orientação da descontinuidade em relação às escavações (ABGE, 1998).

Na Tabela 3 estão apresentados os parâmetros para a rugosidade (J_r) e na Tabela 4 estão apresentados os parâmetros para a alteração (J_n).

Tabela 3. índice de Rugosidade das Descontinuidades.

| | | |
|----|---|-----|
| a) | PAREDES DAS DESCONTINUIDADES EM CONTATO | |
| b) | PAREDES COM MENOS DE 10 CM DE CISALHAMENTO | |
| A | JUNTAS DESCONTÍNUAS | 4,0 |
| B | RUGOSA E IRREGULAR, ONDULADA | 3,0 |
| C | LISA E ONDULADA | 2,0 |
| D | ESTRIAS DE FRICÇÃO E ONDULADAS | 1,5 |
| E | RUGOSA OU IRREGULAR E PLANA | 1,5 |
| F | LISA E PLANA | 1,0 |
| G | ESTRIAS DE FRICÇÃO E PLANA | 0,5 |
| c) | SEM CONTATO ENTRE PAREDES, ZONAS CISALHADAS | |
| H | ZONAS CONTENDO ARGILÓ-MINERAIS COM ESPESSURAS SUFICIENTE PARA IMPEDIR CONTATO ENTRE PAREDES | 1,0 |
| I | ARENOSA OU FRAGMENTADA COM ESPESSURA SUFICIENTE PARA IMPEDIR CONTATO ENTRE PAREDES | 1,0 |

Tabela 4. índice de Alteração e Preenchimento das Descontinuidades.

| | | | |
|----|--|-----------|------|
| a) | CONTATO ENTRE PAREDES SEM PELÍCULA | r | Ja |
| A | SELADA, DURO, IMPERMEÁVEL, PREENCHIDA POR QUARTZO, CALCITA E ETC. | - | 0,75 |
| B | PAREDES SÃS, SUPERFÍCIE DESCOLORIZADA SOMENTE | 25° a 35° | 1 |
| C | PAREDES POUCO ALTERADA, SEM MINERAIS BRANDOS RECOBRINDO, SEM ARGILA E ROCHA DESINTEGRADA | 25° a 30° | 2 |

| | | | |
|---------|--|-----------|-------------------|
| D | CAMADA ARGILO-SILTOSA OU ARGILO-ARENOSA, COM PEQUENA FRAÇÃO DE ARGILA (NÃO MOLE) | 20° a 25° | 3 |
| E | MATERIAIS BRANDOS COM BAIXO ATRITO ARGILO MINERAIS, CAOLINITA OU MICAS, TAMBÉM CLORITA, TALCO, GIPSITA, ETC, E POUCA QUANTIDADE DE MINERAIS EXPANSIVOS | 8° a 16° | 4 |
| b) | PAREDES COM MENOS DE 10 cm DE CISALHAMENTO, PREENCHIMENTO FINO | | |
| F | PARTÍCULAS ARENOSA, SEM ARGILO MINERAIS E ROCHA DECOMPOSTA | 25° a 30° | 4 |
| G | ARGILA RÍGIDA DURA, CONTÍNUA, PORÉM ≤ 5 mm | 16° a 24° | 6 |
| H | ARGILA POUCO A MEDIANAMENTE CONSOLIDADA, CONTÍNUA, PORÉM ≤ 5 m | 16° a 24° | 8 |
| I | ARGILO MINERAIS EXPANSIVOS, ESMECTITAS, CONTÍNUA, PORÉM < 5 m; VALOR DE J _a DEPENDERÁ DA % DE ARGILA EXPANSIVAS, E ACESSO À ÁGUA, ATC. | 6° a 12° | 8 – 12 |
| c) | SEM CONTATO ENTRE PAREDES, ZONAS CISALHADAS | | |
| K L e M | ZONAS OU BANDAS, DESINTEGRADAS, ROCHA FRAGMENTADA E ARGILA, VER G, H, I. | 6° a 24° | 6, 8 OU 8 – 12 |
| N | ZONAS OU BANDAS ARGILO-SILTOSA OU ARGILO-ARENOSA COM PEQUENA FRAÇÃO DE ARGILA (NÃO MOLE) | - | 5 |
| OPR | ZONA ESPESSA E CONTÍNUA OU BANDA DE ARGILA (VER G, H, I, PARA DESCRIÇÃO) | 6° a 24° | 10, 13 OU 13 - 20 |

Considere para o item a) que são descrições referente as feições de pequena e intermediária escala.

Quanto ao item c) considere a seguinte observação: Adicione 1,0 se o espaçamento do principal sistema de juntas for maior do que 3 m.

Observações válidas tanto para a tabela de rugosidade quanto para a tabela de alteração.

- Jw – Índice de Influência da Ação da Água Subterrânea

Nas Tabela 5 estão apresentados os valores de redução devido à presença de água subterrânea nas escavações, sendo estes os índices de influência da água da água subterrânea.

| Tabela 5. Fator de Redução Devido à Presença de Água. | | |
|---|--|------------|
| A | ESCAVAÇÃO SECA OU GOTEJAMENTO, <5 l/min LOCALMENTE | 1,0 |
| B | VAZÃO MÉDIA OU PRESSÃO, PODE LEVAR O PREENCHIMENTO | 0,66 |
| C | VAZÃO ALTA OU ALTA PRESSÃO EM ROCHA COMPETENTE OU JUNTAS NÃO PREENCHIDAS | 0,5 |
| D | VAZÃO ALTA OU PRESSÃO, CONSIDERÁVEL LAVAGEM DAS DESCONTINUIDADES | 0,33 |
| E | EXCEPCIONAIS VAZÕES APÓS A DETONAÇÃO, CAINDO NO TEMPO | 0,2 – 0,1 |
| F | EXCEPCIONAIS VAZÕES APÓS A DETONAÇÃO, SEM DIMINUIÇÃO SIGNIFICATIVA | 0,1 – 0,05 |

Os itens C e F são estimativas grosseiras, os valores de Jw poderão ser aumentados se vazões forem medidas nas drenagens executadas.

- SRF – Fator de Redução Devido à Tensões no Maciço

No sistema Q, a relação entre a resistência à compressão uniaxial do maciço e a tensão principal maior, ativa no horizonte da obra (s_c/s_1), expressa através do parâmetro SFR, procura refletir o potencial de relaxação do maciço ao redor da escavação, outra consideração exclusiva desse

sistema. Além disso, a influência no sistema da resistência do maciço encontra-se implícita no fator SRF, através de s_c (ABGE, 1998).

Tabela 6. Fator de Redução Devido à Tensões no Maciço.

| | | | | |
|----|--|---------------------|--------------------------|---------|
| a) | ZONAS DE FRAQUEZA INTERCEPTANDO A ESCAVAÇÃO, AS QUAIS PODERÃO CAUSAR QUEDA DE BLOCOS DE ROCHA QUANDO O TÚNEL É ESCAVADO | | | SRF |
| A | MÚLTIPLA OCORRÊNCIAS DE ZONAS FRACAS CONTENDO ARGILA OU ROCHA QUIMICAMENTE DESINTEGRADA, MUITO MATERIAL SOLTO NA SUPERFÍCIE DA ROCHA | | | 10 |
| B | ÚNICA ZONA DE FRAQUEZA COM ARGILA OU ROCHA DESINTEGRADA (PROF. ≤ 50 m) | | | 5 |
| C | ÚNICA ZONA DE FRAQUEZA COM ARGILA OU ROCHA DESINTEGRADA (PROF. ≥ 50 m) | | | 2,5 |
| D | MÚLTIPLAS ZONAS CIZALHADAS E ROCHA COMPETENTE, SEM ARGILA; MATERIAL SOLTO NA SUPERFÍCIE DA ROCHA, QUALQUER PROFUNDIDADE. | | | 7,5 |
| E | ÚNICA ZONA CIZALHADA EM ROCHA COMPETENTE, SEM ARGILA; (PROF. ≤ 50 m) | | | 5 |
| F | ÚNICA ZONA CIZALHADA EM ROCHA COMPETENTE, SEM ARGILA; (PROF. ≥ 50 m) | | | 2,5 |
| G | FRAGMENTADA, JUNTAS ABERTAS, MUITO FRAGMENTADA, “BRITA” | | | 5 |
| b) | ROCHA COMPETENTE; PROBLEMAS DE TENSÃO NO MACIÇO | σ_c/σ_1 | σ_θ/σ_c | SRF |
| H | BAIXA TENSÃO, PRÓXIMO A SUPERFÍCIE | >200 | >13 | 2,5 |
| J | MÉDIA TENSÃO, CONDIÇÕES FAVORÁVEIS DE TENSÃO | 200-10 | 13-0,86 | 1,0 |
| K | TENSÃO ALTA | 10-5 | 0,66-0,33 | 0,5-2,0 |
| L | MODERADO DESPLACAMENTO EM ROCHA MACIÇA, APÓS MAIS DE UMA HORA | 5-2,5 | 0,33-0,16 | 5-10 |
| M | DESPLACAMENTO E EXPLOSÃO DE ROCHA EM ROCHA MACIÇA, APÓS POUCOS MINUTOS | <2,5 | <0,16 | 10-20 |
| N | MUITA EXPLOSÃO DE ROCHA (DEFORMAÇÃO E EXPLOSÃO) E DEFORMAÇÃO DINÂMICA IMEDIATA, ROCHA MACIÇA | <2,0 | >1,0 | 200-400 |
| c) | SQUEEZING ROCK: FLUXO PLÁSTICO DE ROCHA INCOMPETENTE CAUSADO POR ALTAS PRESSÕES DE ROCHA | | | SRF |
| O | MODERADO SQUEEZING E CONSEQUENTE PRESSÃO DE ROCHA | | | 5-10 |
| P | INTENSO SQUEEZING E CONSEQUENTE PRESSÃO DE ROCHA | | | 10-20 |
| d) | EXPANSIBILIDADE DE ROCHAS: EXPANSÃO DEPENDENTE DA PRESENÇA DE ÁGUA | | | SRF |
| R | MODERADA EXPANSIBILIDADE E CONSEQUENTE PRESSÃO DE ROCHA | | | 5-10 |
| S | INTENSA EXPANSIBILIDADE E CONSEQUENTE PRESSÃO DE ROCHA | | | 10-15 |

Para os itens a) e c) considerar que Squeezing pode ocorrer em profundidade de $H > 350 Q$; resistência a compressão do maciço pode ser estimada da seguinte relação: $0,7 G Q$ em MPA, onde G = densidade da rocha em KN/m^3 .

Para o item b) considerar que para $0,8 \sigma_c$ e $0,8 \sigma_t$; $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$ reduzir σ_c em σ_c e σ_t para $0,6 \sigma_c$ e $0,6 \sigma_t$, onde σ_c =resistência à compressão uniaxial, σ_1 e σ_3 máxima e mínima tensões principais atuantes, σ_θ tensão tangencial máxima (estimada da teoria da elasticidade). Para poucos casos registrados, onde a cobertura é menor que o vão; sugere-se o aumento do SRF de 2,5 para 5,0, item H.

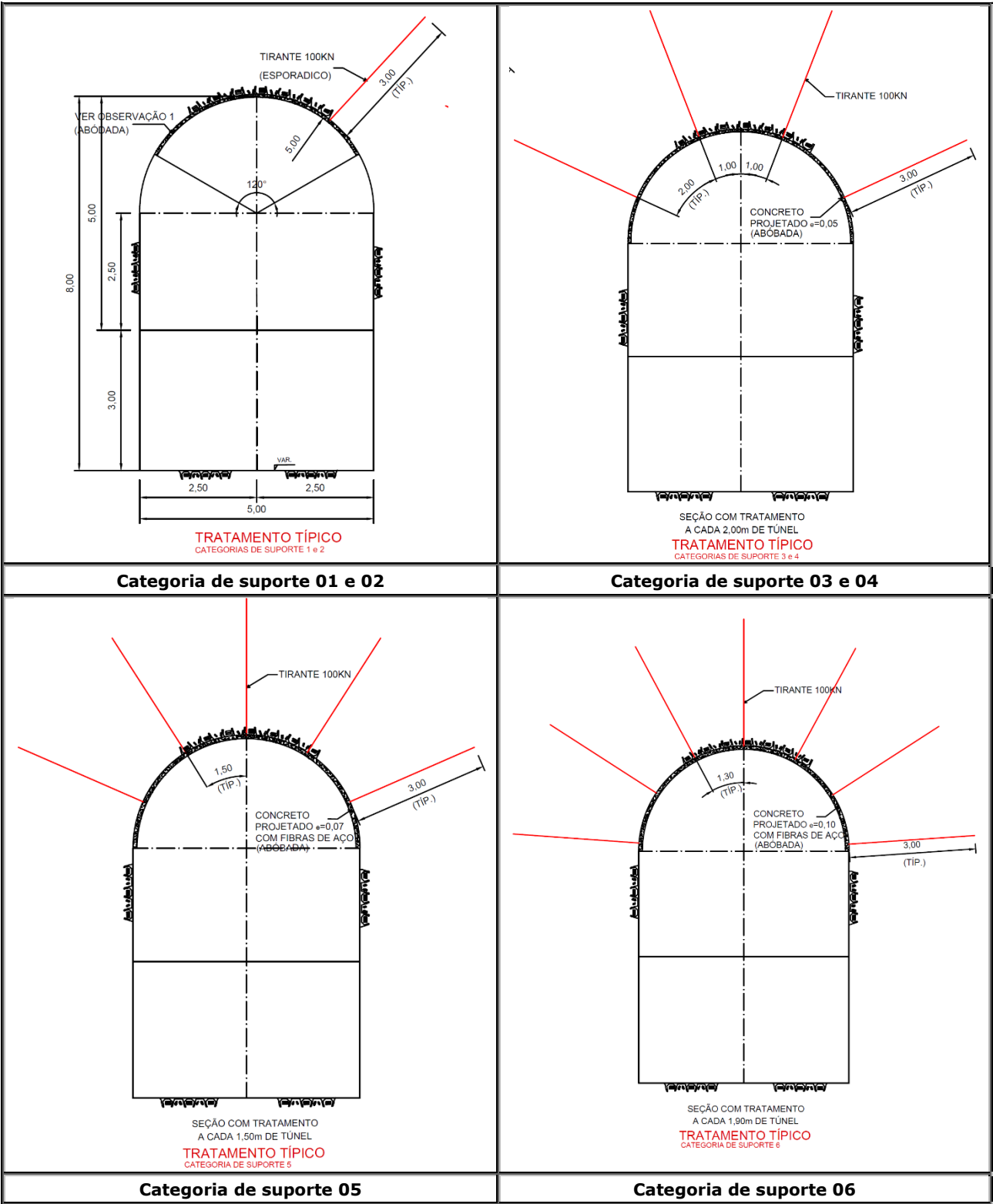
De forma geral o SRF deve ter seus valores reduzidos, de 25% a 50%, se relevantes zonas de fraqueza influenciam, mas não interceptam a escavação.

Com as informações obtidas na campanha de sondagem realizada para o projeto do Túnel de Desvio do Rio Marrecas, verificou-se que o maciço rochoso é de boa qualidade (A1, C1 e F2), assim, acredita-se que a sua categoria de suporte será 1 pelo índice Q de Barton nos locais onde foram executadas sondagens. No início e no final do túnel, segundo os resultados das sondagens realizadas nas proximidades, a rocha é de boa qualidade com recuperação contínua de 100%. No emboque do túnel por se tratar de uma região com menor confinamento recomenda-se tratamento sistemático nos primeiros 80 metros, sendo a categoria de suporte 2, considerando a aplicação de 1 tirante a cada 2,0 metros, dependendo da qualidade da rocha encontrada durante a escavação. Nos últimos 40 metros a categoria de suporte indicada também é 2, considerando a aplicação de 1 tirante a cada 2,0 metros, devendo ser definido a necessidade desse tratamento em função da qualidade da rocha escavada. Desta forma, estima-se que serão necessários 60 tirantes de 03,00 metros com 100kN de pressão e diâmetro de 1".

Também serão necessários 25 tirantes de 03,00 metros com 100KN de pressão para o enfilamento no emboque do túnel e outros 25 tirantes com as mesmas características para o enfilamento no desemboque do túnel.

Quadro 2 -

| CATEGORIA DE SUPORTE | ÍNDICE Q DE BARTON | TIPO DE SUPORTE |
|----------------------|--------------------|---|
| 1 e 2 | > 9 | Autoportantes – Tirantes esporádicos |
| 3 e 4 | 1,5 – 9 | Tirantes a cada 2,00m + 5cm de concreto projetado padrão |
| 5 | 0,4 – 1,5 | Tirantes a cada 1,50m + 7cm de concreto projetado padrão com fibras de aço |
| 6 | 0,13 – 0,4 | Tirantes a cada 1,30m + 10cm de concreto projetado padrão com fibras de aço |
| 7 | 0,03 – 0,13 | Tirantes a cada 1,20m + 15cm de concreto projetado padrão com fibras de aço |
| 8 | 0,002 – 0,03 | Tirantes a cada 1,00m + 25cm de concreto projetado padrão com fibras de aço |



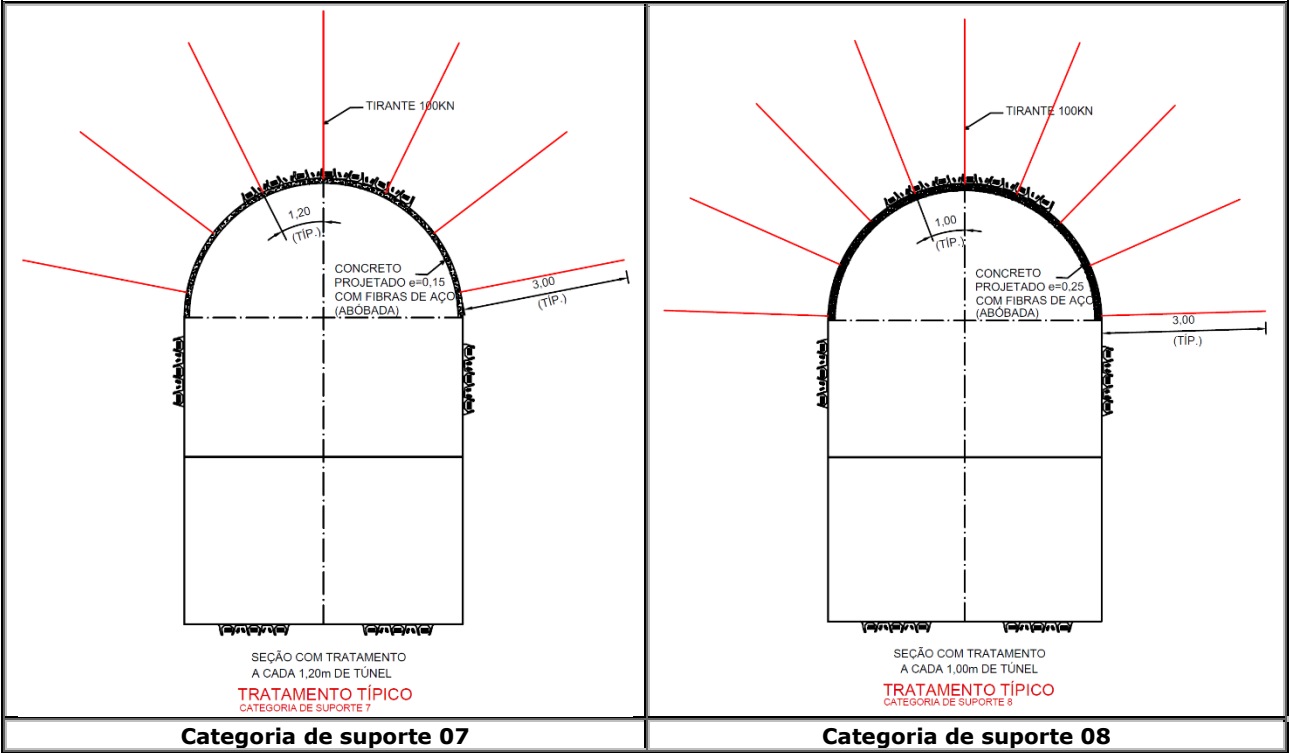


Figura 27. Aspectos Construtivos do Túnel de Desvio.
Simplificado do ANEXO 5.



IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A execução dos estudos geológico-geotécnicos em subsídio ao Projeto do Túnel de Desvio do Rio Marrecas foi realizada através dos trabalhos de levantamento bibliográfico e investigação de campo. Com isso, foi possível derivar um modelo geomecânico condizente com as dimensões das estruturas e da complexidade geológica local. Foram realizados em conformidade com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e da Associação Brasileira de Engenharia de Geologia – ABGE bem como outros regulamentos legais pertinentes.

A INGEO está a dispor para prestar os esclarecimentos que se fizerem necessários.



V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

V.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. 1977. Os domínios morfoclimáticos da América do Sul primeira aproximação.
- ALMEIDA, F.F.M. de; Hasui, Y.; Brito Neves, B.B. de. The upper precambrian of South América. Boletim do IG da USP, vol. 7, n. 45, S. Paulo, 1976.
- BAHIA, V.G.; RIBEIRO, M.A.V. Conservação do solo e preservação ambiental. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999.
- BEURLEN, K. 1953. Estratigrafia e paleogeografia das formações gondwânicas no sul do Brasil. Notas preliminares e estudos, 59:3-9.
- CAMPOS, L.F.G. 1889. Relatório da Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo. São Paulo, p. 21-34.
- CREA-RS - Revista Mensal do Conselho Regional de Engenharia Arquitetura e Agronomia do Rio Grande do Sul. Ano I nº 10 Junho 2005.
- DU TOIT, A. L. – 1927 – Comparação geológica entre a América do Sul e a África do Sul. Trad. de K. E. Caster e J. C. Mendes. Rio de Janeiro, Divisão da Geologia e Mineração, 1952, 179 p.
- EMBRAPA. 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, EMBRAPA/CNPq. 412p.
- GUERRA, A.J.T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R.G.M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de geomorfologia – 2ª edição. Fundação IBGE, Rio de Janeiro, 2009, 28 p.
- MAACK, R. 1952. Desenvolvimento das camadas gondwânicas do sul do Brasil e suas relações com a Formação Karroo da África do Sul. Arquivos de Biol. Tecnol., 7:205-253.
- MILANI, E. J. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. 1997. 2 v. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- MIRANDA, E. E. de; (Coord.). Brasil em Relevo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 3 maio 2012.
- MOUSINHO, Maria Regina; BIGARELLA, João J. Movimentos de massa no transporte dos detritos de meteorização das rochas. Boletim Paranaense de Geografia. Centro de Documentação e

Informação do Instituto de Geologia da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, n. 16/17 jul., p.43-84, 1965.

MUNHOZ, F.A. da C. Efeito das adições ativas na prevenção das reações álcali-sílica e álcali-silicato. 2007. 166f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

NORTHFLEET, A. A.; MEDEIROS, R. A.; MÜHLMANN, H. Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná. Boletim Técnico da PETROBRAS, Rio de Janeiro, v.12, n.3, p. 291-346, jul./set. 1969.

OLIVEIRA, E.P. 1927. Geologia e recursos minerais do estado do Paraná. Serviço geológico e mineralógico do Brasil, Monografia 6, p. 14-95.

OLIVEIRA, A.M.S; BRITO, S.N.A, 1998. Geologia de Engenharia. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE, São Paulo – SP.

PRADO, H. Manual de classificação de solos do Brasil. Jaboticabal, FUNEP, 1983.

ROSA, Rogério de O. Geomorfologia. In: Projeto de Gerenciamento Costeiro (2ª fase). Florianópolis: IBGE, 1995.

SANFORD, R. M.; LANGE, F. W. Basin-study approach to oil evaluation of Paraná miogeosyncline, south Brazil. AAPG Bulletin, Tulsa, v. 44, n. 8, p. 1316-1370, 1960.

SPARKS, Donald L. Environmental soil chemistry. San Diego: Academic Press, 2000

SHIRAIWA, S. Flexura da litosfera continental sob os Andes centrais e a origem da Bacia do Pantanal. 1994. 85 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

TEIXEIRA, WILSON Decifrando a Terra. São Paulo oficina de textos 2000 2ª reimpressão 568pp.

VAIL, P. R.; MITCHUM, R. M.; THOMPSON, S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea level from coastal onlap. In: PAYTON, C. E. (Ed.). Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 1977. p. 63-81. (AAPG. Memoir, 26).

WHITE, I. C. (1908) Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil. Rio de Janeiro: DNPM, 1988. Parte I, p. 1-300; Parte II, p. 301-617.

ZALÁN, P.V.; WOLF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T. & ZANOTTO, O.A. 1990. Bacia do Paraná. In: RAJA GABAGLIA, G.P. & MILANI, E.J. (Coords.). Origem e evolução de bacias sedimentares. Bol. Técn. PETROBRÁS, P. 135-152.

Zalán, P.V., Wolff, S. & Conceição, J.C. de J. 1987. Tectônica e sedimentação da Bacia Sedimentar do Paraná. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3, 1987, Curitiba. Atas... Curitiba, SBG, v. 1, p. 441-474.



APÊNDICES

Apêndice 1. Quadro do Módulo de Elasticidade da Rocha.

| GRUPO DE ROCHA | PARÂMETRO | MÓDULO E (GPa) |
|----------------|------------------------|----------------|
| Ígneas | Basalto e gabro | 60 - 120 |
| | Anfibolito | 60 - 70 |
| | Granito e granodiorito | 50 - 90 |
| | Diabásio | 30 - 90 |
| | Andesito | 120 - 35 |
| | Riolito e fenolito | 10 - 20 |
| Metamórficas | Mármore | 60 - 90 |
| | Quartzito | 40 - 100 |
| | Gnaiss | 25 - 60 |
| | Quartzoxisto | 120 - 30 |
| | Micaxisto | 10 - 25 |
| Sedimentares | Calcáreo | 40 - 80 |
| | Arenito | 15 - 50 |
| | Dolomito | 20 - 30 |
| | Argilito | 15 - 30 |

Apêndice 2. Quadro da Resistência a compressão uniaxial das rochas.

| Grupo de rocha | Parâmetro | Resistência à compressão (Mpa) |
|----------------|------------------------|--------------------------------|
| Ígneas | Basalto e gabro | 80 - 400 |
| | Anfibolito | 170 - 280 |
| | Granito e granodiorito | 120 - 280 |
| | Diabásio | 120 - 250 |
| | Andesito | 50 - 300 |
| | Riolito e fenolito | 100 - 300 |
| Metamórficas | Mármore | 60 - 180 |
| | Quartzito | 280 - 300 |
| | Gnaiss | 80 - 250 |
| | Quartzoxisto | 130 - 250 |
| | Micaxisto | 50 - 150 |
| Sedimentares | Calcáreo | 60 - 180 |
| | Arenito | 30 - 150 |
| | Dolomito | 20 - 120 |
| | Argilito | 40 - 100 |



ANEXOS